

151764



**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oğuz DEMİRYÜREK

**SENTETİK LİF ÜRETİMİNDE KULLANILAN EKSTRÜDERLER VE
EKSTRÜDER-POMPA SİSTEMİNİN TASARIM ESASLARI**

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2004

151764

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SENTETİK LİF ÜRETİMİNDE KULLANILAN EKSTRÜDERLER ve
EKSTRÜDER-POMPA SİSTEMİNİN TASARIM ESASLARI**

Oğuz DEMİRYÜREK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 12/01/2004 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle Kabul Edilmiştir.

İmza.....

Prof.Dr. Erdem KOÇ

DANIŞMAN

İmza.....

Prof.Dr. Beşir ŞAHİN

ÜYE

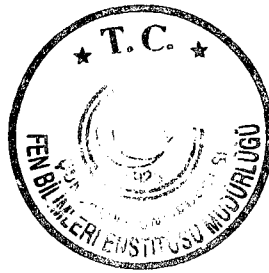
İmza.....

Yrd.Doç.Dr. Nihat ÇELİK

ÜYE

Bu tez Enstitümüz Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No: 2295




Prof. Dr. Fikri AKDENİZ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No:FBE.2002.YL.311

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	V
ABSTRACT.....	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER.....	XV
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	10
3. MATERYAL METOD.....	12
3.1. Materyal.....	12
3.2. Metod.....	13
4. SENTETİK LİF ÜRETİMİ.....	15
4.1. Polimer Üretimi (Polimerizasyon)	16
4.1.1. Kondenzasyon Polimerizasyonu.....	16
4.1.2. Adisyon Polimerizasyonu.....	16
4.2. Lif Çekimi.....	16
4.2.1. Çözeltilerden Lif Çekimi.....	18
4.2.1.1. Kuru Çekim.....	19
4.2.1.2. Yaş Çekim.....	21
4.2.2. Eriyikten Lif Çekimi.....	23
4.2.2.1. Eriyikten Lif Çekiminde Ekstrüder.....	25
4.3. Ekstrüder Sonrası Lif Çekim Sistemi Elemanları.....	30
4.3.1. Pompa.....	30
4.3.2. Lif Çekim Ünitesi.....	34
4.3.2.1. Planet Dişli Pompa.....	35
4.3.2.2. Filtre.....	36
4.3.2.3. Düse.....	38
4.3.3. Soğutma Kanalı.....	46

4.4.	Hazırlık İşlemleri (Preperasyon)	49
4.5.	Ard işlemler.....	49
5.	EKSTRÜDER.....	50
5.1.	Giriş.....	50
5.2.	Ekstrüzyon.....	51
5.2.1.	Ekstrüder Vidası ve Barel.....	53
5.2.2.	Eriyik Oluşumu.....	58
5.3.	Ekstrüder Çeşitleri.....	65
5.3.1.	Pozitif Yer Değişimli Ekstrüderler.....	66
5.3.1.1.	Basit Ram Ekstrüderi.....	67
5.3.1.2.	Kontinü-Akış Ram Ekstrüderi.....	68
5.3.1.3.	Dişli Pompa Ekstrüderi.....	70
5.3.1.4.	Geçmeli Çift-Vida Ekstrüderleri.....	72
5.3.2.	Viskoz-Sürüklemeye Ekstrüderleri.....	74
5.3.2.1.	Radyal Eritme ile Viskoz Akış.....	75
5.3.2.2.	Kayma Gerilmesi ile Viskoz Sürüklemeye Yapan Ekstrüder.....	76
6.	EKSTRÜDERDE HİDRODİNAMİK ANALİZ.....	78
6.1.	Giriş.....	78
6.2.	Eriyik Akış Davranışı.....	80
6.2.1.	Sürüklemeye Akışı.....	81
6.2.2.	Basınç Akışı.....	83
6.2.3.	Net Akış.....	86
6.2.4.	Kaçak (Sızıntı) Akış.....	90
6.2.5.	Sirkülasyon Akışı.....	93
6.3.	Ekstrüderde Viskoz Kayıp Güç.....	96
6.3.1.	Kanal İçerisinde Oluşan Viskoz Kayıp Güç.....	96
6.3.2.	Vida ucu-Barel Açıklığında Oluşan Viskoz Kayıp Güç.....	98
6.4.	Ekstrüder Çıkışı (Kafa)....	101
6.5.	Dişli Pompa.....	104
6.6.	Akış İfadeleri İçin Boyutsuz Çalışmalar.....	106

6.6.1. Sürüklenme Akışı için Boyutsuz Çalışma.....	106
6.6.2. Basınç Akışı İçin Boyutsuz Çalışma.....	106
6.6.3. Net Akış İçin Boyutsuz Çalışma.....	107
6.6.4. Kaçak Akış İçin Boyutsuz Çalışma.....	108
6.6.5. Viskoz Kayıp Güç İçin Boyutsuz Çalışma.....	108
6.6.6. Vida ucu-Barel Arasındaki Kayıp Güç İçin Boyutsuz Çalışma.....	109
7. TEORİK NETİCELER VE İRDELEME.....	110
7.1. Giriş.....	110
7.2. Net Akış İçin Teorik Neticeler.....	111
7.2.1. Boyutsuz Net Akış ($\overline{Q}_l$)-Boyutsuz Kanal Derinliği ($\overline{d}$) Değişimi.....	111
7.2.2. Boyutsuz Net Akış ($\overline{Q}_l$) – Boyutsuz Basınç ($\overline{P}$) Değişimi.....	115
7.2.3. Boyutsuz Net Akış ($\overline{Q}_l$)-Boyutsuz Hatve ($\overline{H}$) Değişimi.....	117
7.2.4. Boyutsuz Net Akış ($\overline{Q}_l$)-Boyutsuz Vida Uzunluğu ($\overline{L}$) Değişimi.....	121
7.3. Boyutsuz Kaçak Akış İçin Teorik Neticeler.....	124
7.3.1. Boyutsuz Kaçak Akış ($\overline{Q}_k$)-Boyutsuz Radyal Açıklık ($\overline{\delta}$) Değişimi.....	124
7.3.2. Boyutsuz Kaçak Akış ($\overline{Q}_k$) –Boyutsuz Basınç ($\overline{P}$) Değişimi.. ..	128
7.3.3. Boyutsuz Kaçak Akış ($\overline{Q}_k$) –Boyutsuz Vida Kalınlığı ($\overline{t}$) Değişimi.....	131
7.4. Kanal İçerisindeki Viskoz Kayıp Güç İçin Teorik Neticeler.....	136
7.5. Vida ucu-Barel Arasındaki Viskoz Kayıp Güç ($\overline{N}_{s2}$) İçin Teorik Neticeler.....	134
7.5.1. $\overline{N}_{s2} - \overline{\delta}$ Değişimi.....	136

7.5.2. $\overline{N_{s2}} - \bar{L}$ Değişimi.....	141
7.5.3. $\overline{N_{s2}} - \bar{P}$ Değişimi.....	144
7.5.4. $\overline{N_{s2}} - \bar{t}$ Değişimi.....	147
8. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....	153
9. GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER.....	157
KAYNAKLAR.....	158
ÖZGEÇMİŞ.....	163



ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SENTETİK LİF ÜRETİMİNDE KULLANILAN EKSTRÜDERLER VE
EKSTRÜDER-POMPA SİSTEMİNİN TASARIM ESASLARI**

Oğuz DEMİRYÜREK

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof.Dr. Erdem KOÇ

Yıl: 2004, **Sayfa:**163

Jüri :

Prof.Dr. Erdem KOÇ

Prof.Dr. Beşir ŞAHİN

Yrd.Doç.Dr. Nihat ÇELİK

Bu çalışmada, tekstilde kullanımı yaygın olan sentetik lifler, bunların üretim aşamaları ve özellikle, termoplastik lifler için kullanılan, polimerden lif çekiminde önemli bir fonksiyonu olan ekstrüder ve lif çekim sistemi elemanları incelenmiştir. Ekstrüder-pompa sisteminin hidrodinamik analizi boyutlu ve boyutsuz çalışmalarla ortaya konularak viskozite, debi, basınç, vida açısı hızı, vida geometrisi için uygun parametreler elde edilerek tasarıma yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ekstrüder, Termoplastik polimerler, Boyutsuz çalışma, Hidrodinamik analiz.

ABSTRACT

MSc THESIS

EXTRUDERS, USED IN SYNTHETIC FILAMENT PRODUCTION AND DESIGN PRINCIPLES OF EXTRUDER-PUMP SYSTEM

Oğuz DEMİRYÜREK

**DEPARTMENT OF TEXTILE ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA**

Supervisor: Prof.Dr. Erdem KOÇ

Year: 2004, **Page:**163

Jury :

Prof.Dr. Erdem KOÇ

Prof.Dr. Beşir ŞAHİN

Asst.Prof.Dr. Nihat ÇELİK

In this study, synthetic fibres, their process stages and especially extruders, which have an important function to draw polymer to fibre, and drawing systems have been investigated. The hydrodynamic analyses of extruder-pump system have been made by dimensional and dimensionless parameters in order to find out appropriate working parameters such as viscosity, flow, pressure, screw angular velocity and screw geometry. In the end, suggestions for future works on extruder design are given.

Key words: Extruder, Thermoplastic polymers, Dimensionless study ,
Hydrodynamic analysis.

TEŞEKKÜR

Değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlanma fırsatı bulduğum, yüksek lisans eğitimim boyunca sabır, anlayış ve hoşgörüsünü eksik etmeyen, sistematik çalışmayı ve mühendisçe düşünmeyi öğrenmemi sağlayan, tezin oluşumu, gelişimi ve sonuçlanmasında yoğun çalışma temposuna rağmen katkısını hiç esirgemeyen üzerimde büyük emeği olan danışman hocam Prof.Dr. Erdem KOÇ'a en kalpten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Başta Bölüm Başkanı olmak üzere maddi ve manevi yardımlarını gördüğüm Tekstil Mühendisliği Bölümü akademik ve idari personeline teşekkür ederim.

Çukurova Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olmam için beni yönlendiren, lisans eğitimimde bana her konuda yardımcı olan, bir hocadan ziyade kendime çok yakın hissettiğim, hayata bakış açımı şekillendiren, Türk Tekstil sektöründe makina imalatı sanayinin gelişmesine büyük emeği geçen çok değerli bilim adamı ve şahsiyeti yüce bir insan olan rahmetli hocam Prof.Dr. Yüksel YILMAZ'a en derin saygılarımı ve teşekkürlerimi sunuyorum, kendisini bir kez daha rahmetle anıyorum.

Maddi ve manevi her zaman yanımda olan, büyük bir özveri ile bu günlere gelmemde desteklerini hiç esirgemeyen babam Adnan DEMİRYÜREK ve annem Fikriye DEMİRYÜREK'e, ayrıca beni her zaman destekleyip motive eden ailemin diğer bütün fertlerine teşekkürü bir borç biliyorum sonsuz saygı ve sevgilerimi sunuyorum.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Bölgeler itibariyle 1999-2000 yıllarındaki sentetik lif üretimi	4
Çizelge 1.2. Türkiye'deki sentetik lif üretimi.....	5
Çizelge 1.3. Türkiye yapay elyaf üretim kapasitesi.....	5
Çizelge 1.4. Seçilmiş termoplastik ve termoset polimerler.....	7
Çizelge 2.1. Kimyasal liflerin tarihsel gelişimi.....	11
Çizelge 4.1. 2000 yılı Dünya lif üretimi.....	15
Çizelge 4.2. Farklı çekim yöntemine göre üretilen polimerler.....	18
Çizelge 4.3. Kuru çekim için bazı polimer çözücü kombinasyonları ve çözücü kaynama noktaları.....	21
Çizelge 4.4. Değişik polimerlerin pompa içindeki sıcaklık ve dinamik viskozite değerleri.....	32
Çizelge 4.5. Seçilmiş bazı sıvı akışkanların değişik sıcaklıklardaki dinamik viskozite (η) değerleri.....	33
Çizelge 4.6. Seçilmiş bazı gaz akışkanların değişik sıcaklıklardaki dinamik viskozite (η) değerleri.....	33
Çizelge 4.7. Çeşitli lif çekim hızlarında filament fiziksel özelliklerinin değişimi.....	43
Çizelge 5.1. Standart bir ekstrüder vidasının temel geometrik büyüklükleri.....	57
Çizelge 5.2. Tek vidalı ekstrüderler için bazı dizayn-üretim büyüklükleri..	59
Çizelge 5.3. Çeşitli polimerlerin karakteristiklerinin üretilebilme hassaslığına etkisi.....	64
Çizelge 7.1. Ekstrüder için boyutlu-boyutsuz parametreler ve ortalama değerleri.....	110
Çizelge 8.1. Tasarım için tavsiye edilen boyutsuz vida parametreleri.....	156

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Tekstil liflerinin sınıflandırılması.....	2
Şekil 1.2.	2002 yılı itibariyle Dünya’da üretilen tekstil lifleri.....	3
Şekil 1.3.	2000 yılı itibariyle Dünya yapay lif üretimi.....	4
Şekil 1.4.	Tipik bir ekstrüder ve elemanları.....	8
Şekil 4.1.	Tipik bir kuru çekim ünitesi.....	20
Şekil 4.2.	Tipik bir yaş çekim ünitesi.....	22
Şekil 4.3.	Tipik bir polimer üretim akışı.....	23
Şekil 4.4.	Basit bir eriyikten lif çekim ünitesi.....	24
Şekil 4.5.	Sürekli ve kesikli (ekstrüder ile) filament üretimi.....	25
Şekil 4.6.	Ekstrüder ile eriyikten lif çekimi.....	27
Şekil 4.7.	Tipik bir eriyikten çekme ünitesi.....	28
Şekil 4.8.	Polyester tow ve kesikli elyaf üretiminin şematik gösterimi....	29
Şekil 4.9.	Dozaj pompası.....	31
Şekil 4.10.	Dozaj pompası giriş çıkış noktaları.....	31
Şekil 4.11.	Dozaj pompasında kullanılan dişli profilleri.....	32
Şekil 4.12.	Kuru ve yaş çekimde kullanılan lif çekim pompası.....	34
Şekil 4.13.	Lif çekim ünitesi şematik gösterimi.....	35
Şekil 4.14.	Planet dişli pompa.....	36
Şekil 4.15.	Filtre ve spineret (düse) ünitesi.....	37
Şekil 4.16.	Düse konstrüksiyonuna göre elde edilen filament ve bant görünüşleri.....	38
Şekil 4.17.	Multifilament lif üretimi için kullanılan çeşitli düse başlıkları..	39
Şekil 4.18.	Dairesel kesitli bir düse deliğinin boyuna kesiti.....	40
Şekil 4.19.	Çeşitli düse profilleri ve elde edilen filamentlerin enine kesitleri.....	41
Şekil 4.20.	Bir filamentin boyuna kesiti ve molekül zinciri durumları.....	42
Şekil 4.21.	Lif çekme eriyiğinin düse kanalından geçerken ve geçtikten sonraki akış durumu.....	44
Şekil 4.22.	Düse ve düse altında lif oluşumu.....	45

Şekil 4.23. Soğutma Kanalları.....	47
Şekil 4.24. Soğutmada çeşitli hava akımları.....	48
Şekil 5.1. Tipik bir ekstrüder ve kısımları.....	52
Şekil 5.2. Tipik bir ekstrüder vidasının tahriği ve vida kısımlarındaki basınç eğrileri.....	54
Şekil 5.3. Bir redüktör ve dişlileri.....	56
Şekil 5.4. Tek vidalı ekstrüderde kademeli olarak eriyik oluşumu.....	59
Şekil 5.5. Ekstrüder boyunca her vida dönüşünde oluşan polimer eriyik durumları.....	61
Şekil 5.6. Tek vidalı ekstrüderde eritme mekanizması.....	62
Şekil 5.7. Polimerin ekstrüder boyunca vida kanalı içindeki erime durumu.....	62
Şekil 5.8. Ekstrüderlerin basınç oluşturma mekanizmasına göre sınıflandırılması.....	66
Şekil 5.9. Basit ram ekstrüderinin şematik gösterimi.....	68
Şekil 5.10. Kontinü-akış ram ekstrüderi.....	69
Şekil 5.11. Pasquetti dişli pompa ekstrüderi.....	71
Şekil 5.12. Geçmeli çift-vida örnekleri.....	73
Şekil 5.13. Geçmeli çift-vida ekstrüderlerinin tipik performans karakteristik eğrisi.....	74
Şekil 5.14. Viskoz-sürüklemeye ekstrüderi şematik gösterimi.....	75
Şekil 5.15. Kayma gerilmesi ile viskoz sürüklemeye yapan ekstrüder ve hız dağılımı.....	76
Şekil 6.1. Tipik bir vidanın geometrisi.....	79
Şekil 6.2. Vida kanalının doğrusal hali ve kanal içerisinde incelenen parçacık.....	81
Şekil 6.3. Vida kanalı içerisinde oluşan sürüklemeye akışının hız dağılımı..	82
Şekil 6.4. Basınç akışı.....	84
Şekil 6.5. A parçacığına etkiyen kuvvetler.....	84
Şekil 6.6. Farklı basınç gradyenlerinde net akış.....	89
Şekil 6.7. Barel ile vida ucu arasındaki kanal.....	90

Şekil 6.8.	Vidanın bir dönüşünün açılmış hali ve geometrik büyüklükleri	92
Şekil 6.9.	Kanal içerisinde oluşan sirkülasyon akışı.....	94
Şekil 6.10.	Kanal içerisinde oluşan sirkülasyon akışı hız vektörleri.....	96
Şekil 6.11.	Barel yüzeyinde oluşan hız vektörü.....	97
Şekil 6.12.	Viskoz kayıp gücün oluşumu için vida dış geometrisi.....	99
Şekil 6.13.	Radyal açıklık içerisinde polimere etkiyen basınç ve kayma gerilmeleri	99
Şekil 6.14.	Silindirik kafa (boru) içerisindeki elemanter akışkan ve etki eden kuvvetler.....	102
Şekil 6.15.	Ekstrüder kafası ve dişli Pompa.....	105
Şekil 7.1.	$\overline{Q_t} - \overline{d}$ değişimi.....	112
Şekil 7.2.	$\overline{Q_t} - \overline{d}$ değişimi.....	113
Şekil 7.3.	$\overline{Q_t} - \overline{d}$ değişimi.....	113
Şekil 7.4.	$\overline{Q_t} - \overline{d}$ değişimi.....	114
Şekil 7.5.	$\overline{Q_t} - \overline{d}$ değişimi.....	114
Şekil 7.6.	$\overline{Q_t} - \overline{P}$ değişimi.....	115
Şekil 7.7.	$\overline{Q_t} - \overline{P}$ değişimi.....	116
Şekil 7.8.	$\overline{Q_t} - \overline{P}$ değişimi.....	116
Şekil 7.9.	$\overline{Q_t} - \overline{P}$ değişimi.....	117
Şekil 7.10.	$\overline{Q_t} - \overline{H}$ değişimi.....	118
Şekil 7.11.	$\overline{Q_t} - \overline{H}$ değişimi.....	118
Şekil 7.12.	$\overline{Q_t} - \overline{H}$ değişimi.....	119
Şekil 7.13.	$\overline{Q_t} - \overline{H}$ değişimi.....	119
Şekil 7.14.	$\overline{Q_t} - \overline{H}$ değişimi.....	120
Şekil 7.15.	$\overline{Q_t} - \overline{H}$ değişimi.....	120
Şekil 7.16.	$\overline{Q_t} - \overline{L}$ değişimi.....	121

Şekil 7.17.	$\overline{Q_t} - \overline{L}$ değişimi.....	122
Şekil 7.18.	$\overline{Q_t} - \overline{L}$ değişimi.....	122
Şekil 7.19.	$\overline{Q_t} - \overline{L}$ değişimi.....	123
Şekil 7.20.	$\overline{Q_t} - \overline{L}$ değişimi.....	123
Şekil 7.21.	$\overline{Q_k} - \overline{\delta}$ değişimi.....	125
Şekil 7.22.	$\overline{Q_k} - \overline{\delta}$ değişimi.....	125
Şekil 7.23.	$\overline{Q_k} - \overline{\delta}$ değişimi.....	126
Şekil 7.24.	$\overline{Q_k} - \overline{\delta}$ değişimi.....	126
Şekil 7.25.	$\overline{Q_k} - \overline{\delta}$ değişimi.....	127
Şekil 7.26.	$\overline{Q_k} - \overline{\delta}$ değişimi.....	127
Şekil 7.27.	$\overline{Q_k} - \overline{P}$ değişimi.....	128
Şekil 7.28.	$\overline{Q_k} - \overline{P}$ değişimi.....	129
Şekil 7.29.	$\overline{Q_k} - \overline{P}$ değişimi.....	129
Şekil 7.30.	$\overline{Q_k} - \overline{P}$ değişimi.....	130
Şekil 7.31.	$\overline{Q_k} - \overline{P}$ değişimi.....	130
Şekil 7.32.	$\overline{Q_k} - \overline{P}$ değişimi.....	131
Şekil 7.33.	$\overline{Q_k} - \overline{t}$ değişimi.....	132
Şekil 7.34.	$\overline{Q_k} - \overline{t}$ değişimi.....	132
Şekil 7.35.	$\overline{Q_k} - \overline{t}$ değişimi.....	133
Şekil 7.36.	$\overline{Q_k} - \overline{t}$ değişimi.....	133
Şekil 7.37.	$\overline{N_{s1}} - \overline{d}$ değişimi.....	135
Şekil 7.38.	$\overline{N_{s1}} - \overline{d}$ değişimi.....	135
Şekil 7.39.	$\overline{N_{s2}} - \overline{\delta}$ değişimi.....	137

Şekil 7.40.	$\overline{N_{s2}} - \overline{\delta}$ değişimi.....	137
Şekil 7.41.	$\overline{N_{s2}} - \overline{\delta}$ değişimi.....	138
Şekil 7.42.	$\overline{N_{s2}} - \overline{\delta}$ değişimi.....	138
Şekil 7.43.	$\overline{N_{s2}} - \overline{\delta}$ değişimi.....	139
Şekil 7.44.	$\overline{N_{s2}} - \overline{\delta}$ değişimi.....	139
Şekil 7.45.	$\overline{N_{s2}} - \overline{\delta}$ değişimi.....	140
Şekil 7.46.	$\overline{N_{s2}} - \overline{\delta}$ değişimi.....	140
Şekil 7.47.	$\overline{N_{s2}} - \overline{L}$ değişimi	141
Şekil 7.48.	$\overline{N_{s2}} - \overline{L}$ değişimi	142
Şekil 7.49.	$\overline{N_{s2}} - \overline{L}$ değişimi	142
Şekil 7.50.	$\overline{N_{s2}} - \overline{L}$ değişimi	143
Şekil 7.51.	$\overline{N_{s2}} - \overline{L}$ değişimi	143
Şekil 7.52.	$\overline{N_{s2}} - \overline{P}$ değişimi	144
Şekil 7.53.	$\overline{N_{s2}} - \overline{P}$ değişimi	145
Şekil 7.54.	$\overline{N_{s2}} - \overline{P}$ değişimi	145
Şekil 7.55.	$\overline{N_{s2}} - \overline{P}$ değişimi.....	146
Şekil 7.56.	$\overline{N_{s2}} - \overline{P}$ değişimi.....	146
Şekil 7.57.	$\overline{N_{s2}} - \overline{P}$ değişimi.....	147
Şekil 7.58.	$\overline{N_{s2}} - \overline{t}$ değişimi.....	148
Şekil 7.59.	$\overline{N_{s2}} - \overline{t}$ değişimi.....	148
Şekil 7.60.	$\overline{N_{s2}} - \overline{t}$ değişimi.....	149
Şekil 7.61.	$\overline{N_{s2}} - \overline{t}$ değişimi.....	149
Şekil 7.62.	$\overline{N_{s2}} - \overline{t}$ değişimi.....	150

Şekil 7.63. $\overline{N_{s2}} - \bar{t}$ değişimi.....	150
Şekil 7.64. $\overline{N_{s2}} - \bar{t}$ değişimi.....	151
Şekil 7.65. $\overline{N_{s2}} - \bar{t}$ değişimi.....	151
Şekil 7.66. $\overline{N_{s2}} - \bar{t}$ değişimi.....	152



SEMBOLLER DİZİNİ

A	Alan	$[m^2]$
B	İki vida dişinin aksel uzaklığı	$[m]$
D	Vida çapı	$[m]$
d	vida ucu ile vida diş dibi arası açıklık	$[m]$
H	İki vida arası normal uzaklık	$[m]$
L	Vida uzunluğu	$[m]$
N	Güç	$[Nm/s], kW$
n	Vida devir sayısı	$[dev/dak]$
$\overline{N}_{s1}$	Kanal içerisinde oluşan boyutsuz viskoz kayıp güç	$[]$
N_{s1}	Kanal içerisinde oluşan viskoz kayıp güç	$[Nm/s], kW$
$\overline{N}_{s2}$	Vida ucu-barel arasında oluşan boyutsuz viskoz kayıp güç	$[]$
N_{s2}	Vida ucu-barel arasında oluşan viskoz kayıp güç	$[Nm/s], kW$
P	Basınç	$[N/m^2], [bar]$
Q_f	Sirkülasyon akışı	$[m^3/s]$
Q_k	Kaçak akış	$[m^3/s]$
$\overline{Q}_k$	Boyutsuz kaçak akış	$[]$
Q_{kp}	Basınçtan kaynaklanan kaçak akış	$[m^3/s]$
$\overline{Q}_{kp}$	Basınçtan kaynaklanan boyutsuz kaçak akış	$[]$
Q_{ks}	Sürüklemeden kaynaklanan kaçak akış	$[m^3/s]$
$\overline{Q}_{ks}$	Sürüklemeden kaynaklanan boyutsuz kaçak akış	$[]$
Q_p	Basınç akışı	$[m^3/s]$
$\overline{Q}_p$	Boyutsuz basınç akışı	$[]$
Q_s	Sürükleme akışı	$[m^3/s]$
$\overline{Q}_s$	Boyutsuz sürükleme akışı	$[]$
Q_t	Net akış	$[m^3/s]$
$\overline{Q}_t$	Boyutsuz net akış	$[]$

S	Bir tam vida dönüşünün aksenal olarak izlediği yol	[m ³ /s]
T	Hatve	[m]
t	Vida dış kalınlığı	[m]
t _x	Bir vida dişinin aksenal uzunluğu	[m]
U	Sirkülasyon hızı	[m/s]
U _s	Maksimum sirkülasyon hızı	[m/s]
V _s	Sürüklenme hızı	[m/s]
Z	Helisi açılmış kanal uzunluğu	[m]
z	Vida sayısı	[]
δ	Barel ile vida diş ucu arası açıklık	[m]
η	Viskozite	[Ns/m ²]
θ	Helis eğimi	[]
τ	Kayma gerilmesi	[N/m ²]
ω	Açısal hız	[1/s]

1. GİRİŞ

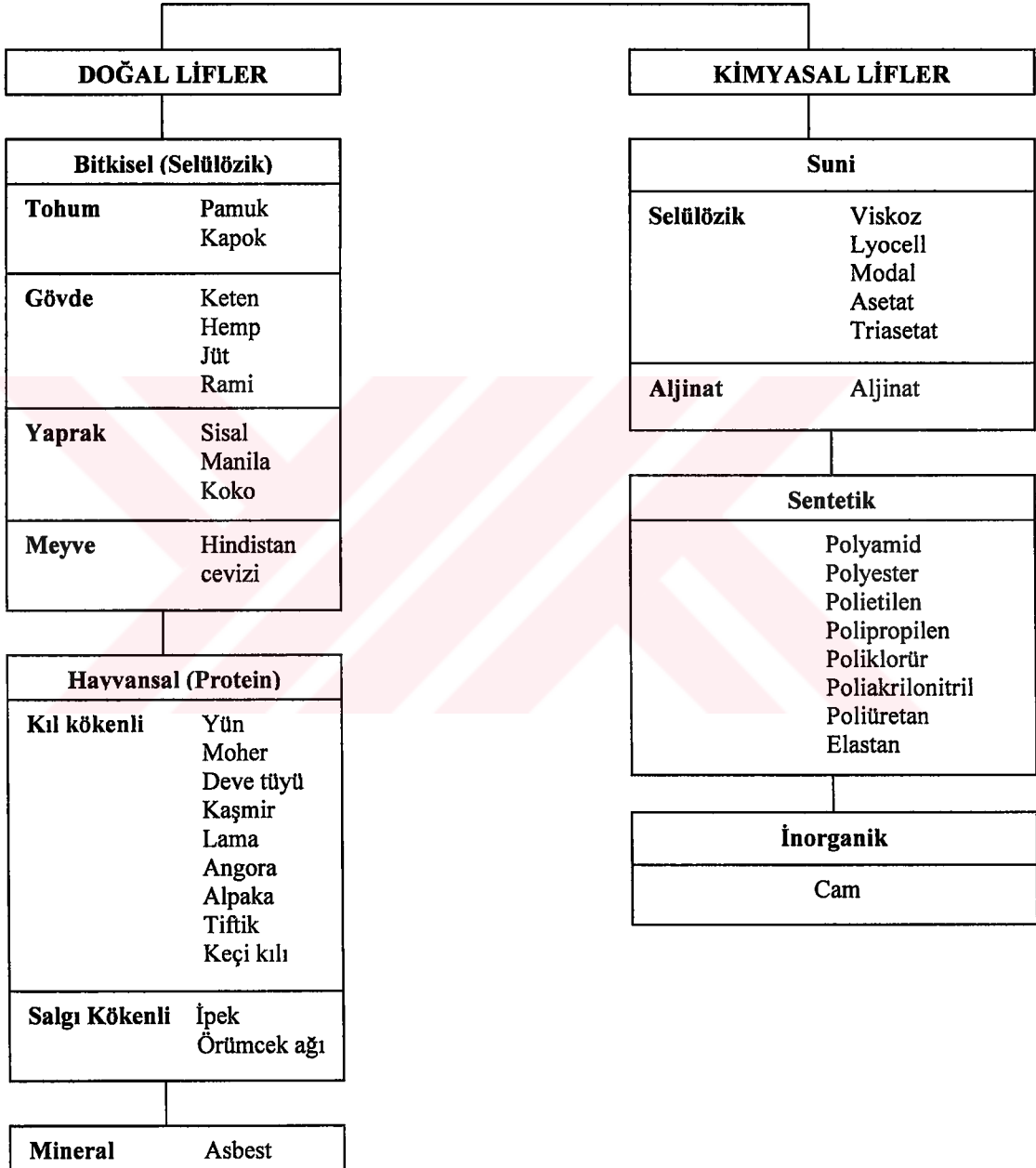
İnsanların en temel ihtiyaçlarından biri örtünmedir. Bu ihtiyacı karşılayan tekstil endüstrisinin hammaddesi belli bir uzunluğu, inceliği, mukavemeti olan liflerdir. Konvansiyonel tekstil ürünü eldesinde öncelikle liflerden iplik elde edilir, sonra bu ipliklerden iki boyutlu bir yüzey oluşturmak için dokuma veya örme işlemleri yapılır, daha sonra üç boyutlu giysi için konfeksiyon işlemlerine geçilir. Liflerden iplik üretiminde liflerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin çok önemli olduğu bilinmektedir.

Lifler doğal ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğal lif, bitkisel (pamuk,keten), hayvansal (yün, ipek) veya mineral (asbest) gibi doğadan elde edilen liflerdir. Kimyasal lifler ise, doğada hazır olarak bulunmayıp birtakım kimyasal işlemlerden geçtikten sonra tekstil endüstrisinde kullanılabilen liflerdir. Tekstil endüstrisinde kullanılan başlıca liflerin genel sınıflandırılması Şekil 1.1.'de gösterilmiştir. Buradan da görüleceği üzere Doğal lifler; bitkisel, hayvansal ve mineral olmak üzere üçe ayrılırlar. Bitkisel (selülözik) lifler tohum, gövde, yaprak ve meyve kökenli liflerdir. Tohum liflerine en iyi örnek pamuk lifidir. Keten, jüt, rami bitkilerin gövdesinden elde edilir. Sisal, manila yaprak lifleri ve hindistan cevizi lifi meyve lifi olarak tanımlanmaktadır. Hayvansal (protein) lifler ise kıl kökenli ve salgı kökenli liflerdir. Kıl kökenli lifler çeşitli hayvanların tüylerinden elde edilir. Yün, kaşmir, angora, tiftik vb.kıl kökenli liflerdendir. Salgı kökenli lifler ise ipek böceğinin salgısı olan ipek ve örümcek ağıdır. Kimyasal lifler elde edilen lifin kaynağına göre suni, sentetik ve inorganik olarak üçe ayrılır. Suni lifler, doğal hammaddelerin kimyasal işlemler görmesiyle oluşurken, sentetik lifler petrol kökenli lifler olup tamamıyla kimyasaldır. Suni liflere örnek olarak viskoz, lyocell, selülöz asetat, selülöz triasetat ve aljinat gösterilebilir. Sentetik lifler ise petrol ürünleri hammadde olacak şekilde polimerizasyon sonucu oluşturulan polimerin çekilmesiyle elde edilir. Polyester, polyamid, polietilen, polipropilen vs. en çok kullanılan sentetik liflerdir.

Doğal liflerin uzunluğu kimyasal liflere nispeten kısadır (10-150 mm) ve bunlara şapnel lif denir. Şapnel (kesikli) lif, tekstilde kısa ve belli uzunluklara sahip

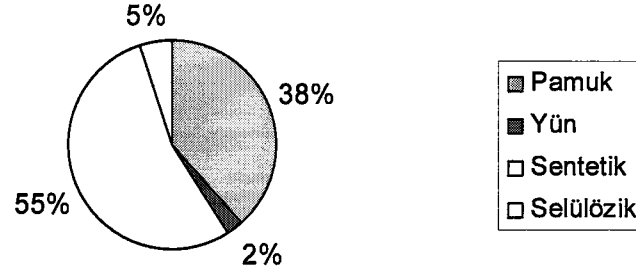
liflere verilen isimdir. Kontinü veya kesiksiz lifler ise sürekli olan liflere denir. Doğal lifler çoğunlukla kesikli olmakla beraber, yine doğal bir lif olan ipek kesiksizdir (yaklaşık 2 km). Suni lifler kesiksiz olarak veya isteğe göre kesikli olarak üretilmektedir.

TEKSTİL LİFLERİ



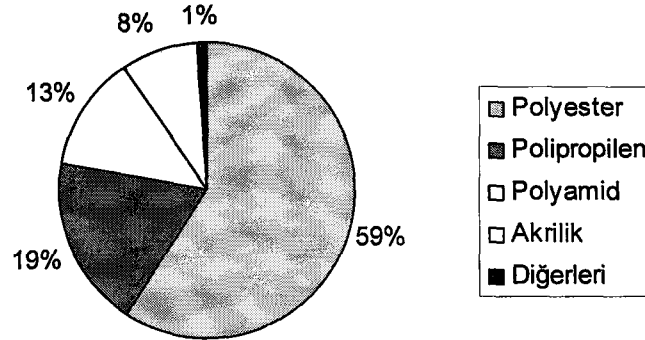
Şekil 1.1. Tekstil liflerinin sınıflandırılması

Dünya’da üretilen liflerin %55’i sentetik lifler olup kullanım alanları oldukça geniştir. Pamuk %38, selülozik lifler %5, yün %2’lik bir üretim oranına sahiptir. Şekil 1.2.’de Dünya’da liflerin 2002 itibariyle üretim durumu gösterilmiştir.



Şekil 1.2. 2002 yılı itibariyle Dünya’da üretilen tekstil lifleri (1000 ton)
(www.bharattextile.com)

Yapay lifler içerisinde en fazla kullanıma sahip olan lif polyesterdir. Şekil 1.3. yapay liflerin 2003 yılı itibariyle Dünya’da üretim oranlarını göstermektedir. Buradan da görüleceği üzere polyester % 59’luk üretim ile en fazla üretilen sentetik liftir ve rakipsizdir. Polipropilen %19, polyamid (naylon) %13 ve akrilik %9’luk üretim oranına sahiptir. Çizelge 1.1.’de 1999 ve 2000 yıllarına ait Dünya’da bölgesel olarak sentetik liflerin üretimi ve üretimdeki değişim oranları gösterilmiştir. Dünya genelinde 1999-2000 yılları arasında Polyester, Poliolefin ve Akrilik’in değişim oranı %6 olurken Polyamid %8’lik bir artış göstermiştir. Polyester değişim oranı %15 ile en fazla Çin Halk Cumhuriyeti’nde olurken, Poliolefin en fazla Batı Avrupa ve Tayvan’da %10 ile; Polyamid en fazla % 44 ile yine Tayvan’da; Akrilik ise % 18 ile Çin Halk Cumhuriyeti’nde artış göstermiştir. Artışın genellikle Uzakdoğu ülkelerinde olması bu ülkelerin tekstilde yatırımlarını artırdığını göstermektedir. Dünya geneli itibariyle de tekstilde sentetik lif üretiminin ve kullanımının artma eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 1.3. 2000 yılı itibariyle Dünya yapay lif üretimi (Melliand Int., 9/2001)

Çizelge 1.1. Bölgeler itibariyle 1999-2000 yıllarındaki sentetik lif üretimi (1000 ton)
(Melliand Int., 9/2001)

Bölgeler	Polyester			Poliolefinler			Polyamid			Akrilik		
	1999	2000	±%	1999	2000	±%	1999	2000	±%	1999	2000	±%
Doğu Avrupa	1363	1446	+6	1747	1826	+5	684	710	+4	812	837	+3
Batı Avrupa	238	248	+4	142	156	+10	192	224	+17	113	113	±0
ABD/Kanada	1769	1763	±0	1430	1511	+6	1314	1310	-1	143	154	+8
Latin Amerika	688	735	+7	319	342	+7	203	216	+6	216	220	+2
Çin H. Cum.	4439	5122	+15	851	860	+1	347	390	+12	414	488	+18
Tayvan	2523	2570	+2	134	148	+10	302	436	+44	95	105	+10
Kore	2147	2222	+4	94	93	-1	283	311	+10	140	122	-13
Japonya	665	665	±0	161	165	+2	184	186	+1	377	382	+1
Diğer	4049	4142	+2	780	884	+13	320	342	+7	203	247	+22
Toplam	17879	18912	+6	5657	5984	+6	3828	4118	+8	2513	2669	+6

Çizelge 1.2.'de Türkiye'deki sentetik son altı yıldaki lif üretim durumu gösterilmektedir. Burada, seneler itibariyle her elyaf ve iplik için üretimin arttığı anlaşılmaktadır. Çizelgeden, en çok üretilen lif ve ipliğin polyester olduğu görülmektedir. 2003 yılı toplam üretim tahminlerinin, 1997 yılı toplam üretiminin yaklaşık iki katı olduğu ve bu durumun Türkiye'de sentetik lif sektörünün kapasite artırdığının bir göstergesi olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 1.2. Türkiye'deki sentetik lif üretimi (ton) (Sanver E., 2003)

Yıllar Lif	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003 tahmin
Polyester iplik	199.000	182.000	260.000	344.000	320.000	321.000	340.000
Polyester elyaf	86.000	84.000	107.000	120.000	89.000	95.000	99.000
Polyamid iplik	58.000	63.000	43.000	60.000	61.000	63.826	65.000
Polyamid elyaf	-	-	-	-	-	-	-
Akrilik elyaf	208.000	204.000	204.000	220.000	209.000	231.000	240.000
Polipropilen iplik	-	-	140.000	162.000	130.000	160.000	180.000
Polipropilen elyaf	-	-	25.000	32.000	22.000	25.000	38.000
Toplam	551.000	533.000	779.000	742.573	938.000	831.000	962.000

Çizelge 1.3.'te ise Türkiye'deki yapay elyaf üretim kapasitesi gösterilmektedir. Polyester üretim kapasitesinin 2003 yılında, 1997 yılındakinin iki katına yakın değerde olduğu ve bu sektöre ciddi bir yatırımın yapıldığı anlaşılmaktadır. Toplamda ise gene son altı yılda kapasite yaklaşık iki kat artmıştır. Çizelge 1.2. ve Çizelge 1.3. karşılaştırıldığında kapasitenin üretimden fazla olduğu, özellikle polyesterde kapasite/üretim oranının yaklaşık 1.5 kat olduğu görülmektedir. Bu oran fazla gibi görülse de önümüzdeki yıllarda sentetik lif üretiminin daha da artacağı düşünülerek fazla kapasitenin geleceğe dönük bir yatırım olduğu düşünülebilir.

Çizelge 1.3. Türkiye yapay elyaf üretim kapasitesi (Sanver E., 2003)

Yıllar Üretim kapasitesi	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003 tahmin
Polyester iplik	244.000	279.000	392.000	441.000	446.000	446.000	446.000
Polyester elyaf	92.600	136.000	140.000	144.000	149.000	150.000	150.000
Polyamid iplik	65.000	68.000	77.000	77.000	77.000	80.000	80.000
Polyamid elyaf	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600	-	-
Akrilik elyaf	230.000	240.000	250.000	250.000	250.000	250.000	250.000
Polipropilen iplik	-	-	155.000	180.000	180.000	205.000	225.000
Polipropilen elyaf	-	-	30.000	35.000	35.000	45.000	45.000
Toplam	635.200	726.600	1.047.600	1.130.600	1.140.600	1.176.000	1.196.000

Polyester, kimyasal ismi ile Polietilentereftalat (PET), dünyada en çok kullanılan sentetik liftir. PET dayanıklı ve boyutsal olarak stabil bir lif olup, şapnel ve

filament olarak kullanımı giderek artmaktadır. Toplam lif piyasasının yaklaşık % 50'sini içine alan giyim alanında PET hem tek olarak hem de kumaşlara kolay bakım özellikleri, kırışma dayanımı ve sağlamlık verme amacıyla pamuk ve viskoz ile karışım halinde kullanılmaktadır. PET lifi ayrıca filtrasyon ve jeotekstiller gibi endüstriyel ve teknik uygulamalarda da kullanılırken halı, döşemelik, perdelik, şemsiye, kravat, astar vs. gibi uygulamalarda da kullanımı yoğundur. Kesikli polyester lifleri pamukla karışım halinde kullanılır. % 100 pamuğa kıyasla daha yüksek mukavemet vermesi, kırışıklığı azaltması iyi özellikleridir (Altun Ş., 1999).

Naylon 6, naylon 6.6; çorap, streç kumaşlar, spor giyim, paraşüt, lastik kordu ve konveyör kayışları gibi çok sayıda kullanım alanına sahiptir. Naylon kumaşlar yüksek mukavemet, hafif gramaj, aşınma dayanımı, darbe ve yorulma dayanımı gereken yerlerde çok iyi performansa sahiptir.

Akrilik lifleri giyim, halı ve ev tekstili sektöründe en sık kullanılmasına rağmen, bazı endüstriyel uygulamalara da sahiptir. Bunların arasında lif takviyeli çimentoda asbestin yerine kullanımı görülebilir.

Polipropilen ve diğer poliolefinlerin tekstil üretiminde kullanımı bir milyon tonu aşmaktadır. Tafting halılar için primer halı zemini, çuvallar, balya sarıcılar gibi başlıca kullanım alanları vardır. Polipropilenden yapılan zemin kaplamaları ve döşemelikler iyi aşınma dayanımları ve kolay leke uzaklaştırma avantajlarına sahiptir. Polipropilenin giysilerde kullanımı pek artmamıştır, çünkü nem alımı, boyanabilmesi ve ısıl dayanımı kötüdür. Bununla birlikte, polipropilen iplikler örme giysilerde kullanılabilmekte, filtrasyon kumaşları, jeotekstiller, çimento ve beton takviyesi gibi kullanım alanlarına sahiptir.

Poliüretan, elastomerin % 85'den az olmadığı karmaşık bir kopolimerden oluşan elastan lifleri korse türü giysilerde ve külotlu çoraplarda, plaj giysilerinde ve örme kumaşlarda kullanılmaktadır.

Yapay lifler ısıya karşı davranışlarına göre Termoplastik ve Termoset olarak ikiye ayrılır. Termoplastik lifler ısı etkisinde yumuşarlar ve belli bir şekil verip soğutulduğunda verilen şekli muhafaza ederler. Termoset lifler ise ısı etkisinde yumuşamazlar ve ancak uygun bir çözelti içerisinde eritilerek işlem görürler.

Yukarıda kısaca bahsedilen yapay liflerin üretimi için çeşitli mekanik, termodinamik, kimyasal prosesler gereklidir. Bu proseslerde, hammadde ile proses şartları iyi belirlenmeli, üretim ve konstrüksiyon bu şartlara göre belirlenmelidir.

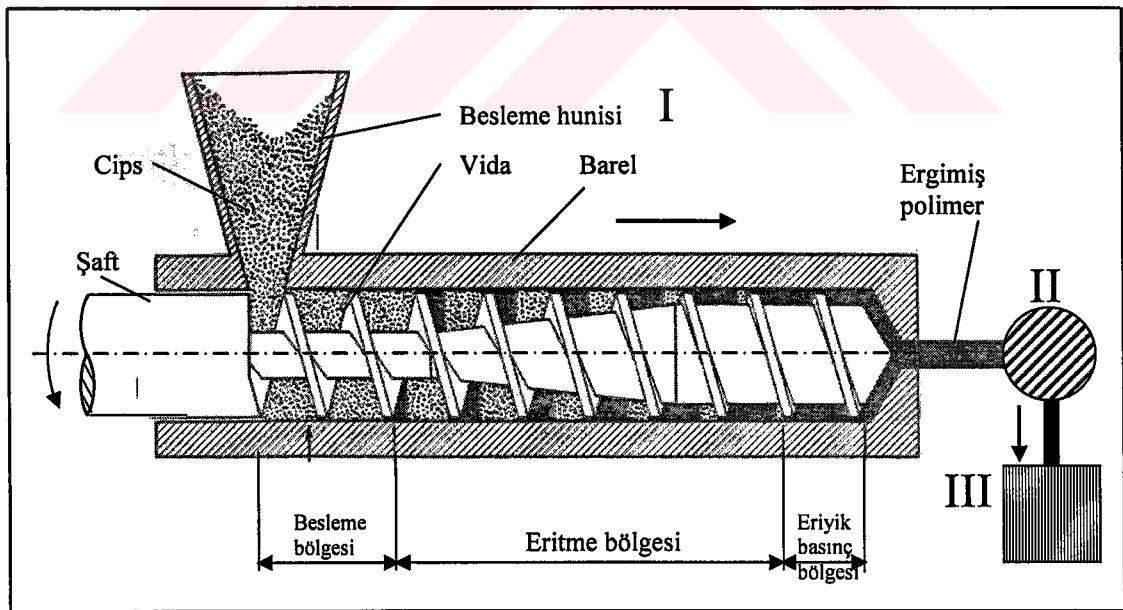
Sentetik liflerin üretiminde iki temel işlem bulunmaktadır. Bunlar, polimerin üretimi ve bu polimerden lif elde etme işlemleridir. Polimer elde etme, kimyasal bir işlemdir. Polimerden lif eldesi ise eriyikten ve çözültiden olmak üzere ikiye ayrılır. Bir lifin eriyikten veya çözültiden çekilmesi polimerin termoset veya termoplastik olmasına bağlıdır. Termoset polimer ısı etkisinde katılaşarak özelliğini kaybederken, termoplastik polimerler ısı etkisinde yumuşarlar. Eriyikten lif çekimi daha pratik ve daha çok kullanılan bir yol olup termoplastik polimerden lif üretiminde kullanılır. Çözültiden lif çekimi ise termoset polimerden lif üretiminde kullanılan bir metod olup kuru ve yaş çekim olmak üzere ikiye ayrılır. Yapay liflerin üretim yöntemleri dördüncü bölümde daha geniş olarak ele alınacaktır. Çizelge 1.4.'te seçilmiş termoplastik ve termoset lifler gösterilmiştir. En fazla üretime sahip olan Polyester (PET), Naylon 6, Naylon 6.6, Polipropilen, Polietilen gibi lifler eriyikten çekme yöntemine göre üretilen termoplastik polimerlerdir. Akrilik, Poliüretan (Lycra, Vyrene) Selülöz asetat, Selülöztriasetat gibi lifler ise çözültiden çekme yöntemine göre elde edilen termoset polimerlerdir.

Çizelge 1.4. Seçilmiş termoplastik ve termoset polimerler

Termoplastik	Termoset	
Naylon 6	Selülöz diasetat	Poliüretan (Vyrene)
Naylon 66	Selülöz triasetat	Modakrilik
PET	Akrilik	Rayon
PP	Poliüretan (Lycra)	Polivinil alkol
Polietilen	Polivinil klorid	

Eriyikten lif çekimi daha çok termoplastik polimerlerin hammadde olarak kullanıldığı bir prosestir. Proses, vidalı bir mile sahip olan ekstrüder, buna bağlı dozaj pompası ve lif çekimi için gerekli deliklere sahip düse başlıklarından oluşan bir sistemdir. Burada ekstrüder eriyikten lif çekimi yönteminin kalbini oluşturmaktadır. **Ekstrüder**, basit olarak, silindirik bir gövde içerisinde dönen vidalı sistem olarak

düşünülebilir. Polimer bu sistem içerisinde ısıtılarak eriyik haline getirilir ve vida ile belli bir basınç kazandırılarak itilir. Belli bir viskoziteye, sıcaklığa ve basınca sahip olan polimer, basınç arttırıcı bir dozaj pompasından sonra düzeye gelir, burada şekil kazanarak lif halini alır. Şekil 1.4.'te tipik bir ekstrüder (I), kısımları ve ekstrüdere bağlı elemanlar olan dozaj pompası (II) ve spineret başlığı (III) şematik olarak gösterilmektedir. Ekstrüder kısımları besleme (taşıma), eritme ve basınç (pompalama, ölçüm) bölgeleri olarak sıralanabilir. Bu bölgeler tam bir sınır ile ayrılamaz fakat ekstrüderin fonksiyonlarının anlaşılması için gereklidir. Burada, bir elektrik motorundan tahrik alan üzerine helisel vida açılmış tek parça şaft dönmeye başlar. Vidayı çevreleyen ve üzerinde ısıtıcıların bulunduğu silindirik bir gövde (**barel**) bulunmaktadır. Katı polimer (cips) bir huni içerisinde ekstrüderin ilk kısmı olan besleme bölgesine giriş yaparak ekstrüder boyunca eritmeye ve zorunlu bir hareketle yer değiştirmeye maruz kalır. Besleme veya başka bir ifadeyle taşıma bölgesinde az bir eritme sağlanır ve buradan eritme bölgesine taşınan polimer yavaş yavaş eritilir.



Şekil 1.4. Tipik bir ekstrüder ve elemanları
(Tadmor Z., Klein I., 1970)

Katı polimerin eriyen polimerler ve barel ile etkileşimi sonucu eritme bölgesi boyunca polimer tamamen eritilir ve ergimiş polimer basınç bölgesine iletilir. Basınç

bölgesinde polimere basınç kazandırılır ve basınç ölçümü yapılarak çıkışa sevk edilir. Şekilden de görüldüğü gibi vida konikliği ekstrüder boyunca gittikçe artmakta ve basınç bölgesinde maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bunun sebebi katı polimerin besleme bölgesinde hacminin fazla olması ve eritme bölgesi boyunca eriyen polimerin yoğunluğunun artması ile birlikte hacminin azalmasına bağlı olarak taşımının daha uygun yapılabileceğidir. Hacmi azalan polimeri güç ve verim kaybı olmadan ve vida kanalı içinde boş hacim kalmadan taşıyabilmek için vida konstrüksiyonu genelde bu şekilde yapılmaktadır. Bu aynı zamanda basınç bölgesinde polimerin dar bir hacimde sıkıştırılıp itilerek basınç oluşumuna da yardım etmektedir. Bu nedenle ekstrüder dozaj pompası (II) öncesi bir ön pompa gibi görev yapmaktadır. Burada incelenen ekstrüder yapısı gereği pozitif iletimli bir pompa gibi düşünülebilir. Başka bir ifadeyle sistemde yer alan açıklıklar vidanın dönüşüyle katı ve sıvı malzeme ile doldurulup çıkış sistemine sevk edilmek zorundadır. Ergiyen ve çıkışa sevk edilen polimer, dozaj pompası (II) ve lif çekme başlıklarına (III) gelerek filament oluşturulur. Bu işlemler 4. bölümde genişçe ele alınacaktır

Ekstrüder için bazı önemli konstrüksiyon parametreleri; vida geometrik büyüklükleri (uzunluk, hatve, derinlik, derinlik değişimi, eğim gibi), baryl uzunluğu, ısıtıcı sayısı, ekstrüder içerisindeki işlem bölgelerinin (besleme, eritme, basınç) uzunluğu olarak sıralanabilir. Ekstrüder proses parametreleri ise verilen ısı, güç, vida dönüş hızı, polimer için uygun sıcaklığın sağlanması, polimerin fiziksel özellikleri, volümetrik, mekanik, hidrodinamik verim; viskozite değişimi, çıkıştaki debi ve basınç değerleri olarak bilinmektedir. Bu parametreler polimerin istenen kalitede ve düzgün olarak işlenebilmesi için önemlidir.

Bu çalışmada, tekstil endüstrisinde kullanılan sentetik liflerin lif çekim sistemleri ve elemanları hakkında kısa bilgi verilerek termoplastik polimerlerin polimer halinden lif haline gelmesinde yaygın olarak kullanılan ekstrüderin yapısı, genel özellikleri, çalışma prensipleri, üretim teknolojisi, ekstrüder-pompa geometrik büyüklükleri, çalışma parametrelerinin lif üretim performansına etkileri boyutlu ve boyutsuz çalışmalar yapılarak araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Suni lifler ilk olarak, 1846 yılında, İsviçreli kimya profesörü C.F. Schönbein tarafından, pamuğun nitrik ve sülfürik asit karışımı etkisi ile çözülebilir plastik bir malzemeye dönüştürülebileceğinin fark edilmesi sonucu selülöz nitratin keşfedilmesiyle başlamıştır. 1855'te George Audemars dut ağacının ince dallarını nitrik asit içinde çözerek lif üretmiştir. 1862'de Ozenam ilk lif çekme başlığı'nı (spineret) bulmuştur. Bu buluş kimyasal liflerin üretimi için büyük bir aşama olmuştur. İlk suni lifi olan 'Rayon'u Chardonnet 1884 yılında bulmuştur. Selülöz üzerinde asit karışımının etkisiyle selülöz nitrat elde edilmiş daha sonra selülöz nitrat, alkol çözücünde çözülerek çekilerek rayon elde edilmiştir (Marjory, J.L. 1988).

İlk sentetik lif 1927 yılında başlatılan çalışmalarla Carothers tarafından DuPont firması için bulunan Polyamid (Naylon 6.6) lifidir. 1938 yılında Amerika'da piyasaya çıkan ve daha sonra 1938'de naylon 6.6 ve 1940'ta naylon 6.10'un da bulunmasıyla sentetik lif üretimine ivme kazandırılmıştır (Marjory, J.L. 1988).

Polyester ile ilgili ilk çalışmalar yine Carothers tarafından DuPont firmasında başlatılmış olsa da ilk başarılı polyester üretimini İngiltere'de 1941 yılında J.R. Winfield ve J.T. Dickson gerçekleştirmiştir. II. Dünya savaşının bu sırada ortaya çıkmasıyla polyesterin geliştirilmesi zaman alsa da 1946 yılında ICI (Imperial Chemical Industries) kuruluşu polyesterin üretim hakkını satın almış ve Amerika haricinde tüm dünya'da üretmeye başlamıştır. Amerika'da ise DuPont firması 'Dacron' ticari ismiyle polyesteri üretmiştir. Bu buluşları diğer lifler takip etmiştir. Bunların en başarılıları poliakrilonitril (1949), polivinilalkol (1950) ve polipropilen (1954) olmuştur (Marjory, J.L.,1988). Çizelge 2.1.'de Kimyasal liflerin tarihsel gelişimi gösterilmektedir. Buradan da görüleceği gibi ilk bulunan kimyasal lif suni bir lif olan nitroselülöz (rayon) olmuştur. 1884 yılında bu lif bulunmasına rağmen 1889 yılında patenti alınmıştır. Naylon 6.6 ise ilk sentetik liftir. 1931 yılında bulunarak 1938 yılında üretimine başlanmıştır. Günümüzde en fazla kullanıma sahip olan polyester ise 1941'de İngiltere'de Winfield ve Dickson tarafından bulunmuştur.

Çizelge 2.1. Kimyasal liflerin tarihsel gelişimi (Altun Ş.,1999)

Lif	Araştırmacı	Ülke	Patent tarihi	Üretim tarihi
Nitroselülöz	Chardonnet	Fransa	1889	1890
Bakır ipeği	Despeissis	Fransa	1890	1899
Viskoz	Stearn	İngiltere	1897	1898
Selülöz Asetat	Miles	ABD	1903	1919
Naylon 6.6	Carothers	ABD	1931	1938
Naylon 6	Schlach	Almanya	1938	1939
Polyester	Winfield ve Dickson	İngiltere	1941	1947
Akrilik	Houtz	ABD	1942	1942
Polipropilen	Natta	İtalya	1954	1959

Endüstriyel sayılabilecek ilk ekstrüder Joseph Bramah (1795) tarafından dizayn edilmiştir. El ile kontrol edilen bir piston gibi düşünülebilecek olan bu makina, kurşun boru imalatında kullanılmıştır. İlk vidalı ekstrüderi Gray (İngiltere) ve Royle (ABD) dizayn ederek patentini almıştır. 19. yüzyılın ortalarından itibaren şimdiki sentetik polimerlerin bulunmasına kadar geçen süre içerisinde ekstrüder kauçuk, selülöz nitrat ve kazeinin işlenmesinde kullanılmıştır. 1925 yılında polivinilkloridin çeşitli türleri için ekstrüder kullanılmış ve modern ekstrüzyon teknolojisi bu buluşla başlamıştır. Termoplastik malzemeler için geliştirilen ilk vidalı ekstrüder 1935 yılında Paul Troester (Almanya) tarafından yapılmıştır (Tadmor Z., Klein I., 1970).

3. MATERYAL METOD

3.1. Materyal

Tekstil endüstrisinde kullanılan sentetik lifler polimerlerden elde edilir. Lif oluşturuucu polimerlerin filamentlere dönüştürülmesinde iki temel yol kullanılmaktadır. Bunlar: eriyikten lif çekimi ve çözeltiden lif çekimi'dir. Eriyikten lif çekimi en basit üretim yöntemidir. Çünkü çözücü kullanımı ile ilgili problemler yoktur, polimer granülleri veya cipsleri eriyikten lif çekimi için başlangıç maddesini oluşturduğunda ilk olarak kurutulur ve ekstrüderde eritilir. Homojen hale getirilen ve filtre edilen eriyik dar kanallardan soğutma bölümüne yollanır. Burada, akışkan haldeki filament demetlerinin katılaştırılması sağlanır. En son olarak filament demetleri bobinlere sarılmadan önce iplik terbiye maddesi uygulanır. Sürekli lif çekiminde polimerizasyon ile üretilen homojen ve çekilebilir eriyik direk olarak dişli pompa aşamasında lif çekim makinasına yollanır. Sürekli olmayan lif çekiminde cips veya granül oluşturulur.

Ekstrüzyon işlemi genel olarak, ısı veya solventlerle polimerin önemli özelliklerini değiştirmeden yumuşatılması ve taşınması anlamına da gelmektedir. Plastik ve Tekstil Endüstrisinde bu işlemi yapan makinarya "Ekstrüder" adı verilmektedir. Ekstrüzyon işlemi ile polimer filmleri, filament üretimi, tel üzerini kaplama, cam veya polimer filamenti üretimi de mümkündür.

Ekstrüderlerin esasını, yatay veya dikey bir silindir ile içerisindeki vidalı eleman oluşturmaktadır. Bunlar, hem cipslerin eritilmesini hem de eriyiğin taşınmasını sağlamaktadır. Hatta, taşınan eriyiğin basıncının 150 bar'a kadar çıkmasına yardımcı olarak ön pompa vazifesi görmektedir. Cipsler vida dişleri arasında sıcak bölgeden mecburen ve kısa bir sürede geçmektedirler. Burada katı polimerin sıvı hale gelişi ve akışkan polimerin mekanik ve hidrodinamik davranışı önemlidir. Kullanılan ekstrüderin amaca uygun olarak seçilmesi için bu özellikler dikkate alınmalıdır. Bunun için ekstrüder geometrisi ve çalışma parametreleri belirlenir. Güç, verim, çalışma hızı, verilen ısı, vida profili, sayısı, eğimi, derinliği vs. her polimer için farklı değerleri alabilmektedir. Düze çıkışındaki fiziksel değerleri polimere kazandırmak ekstrüder-düze arasındaki elemanların uyumlu çalışmasıyla

mümkün olacağından ekstrüder, dozaj pompası, filtre ve düşenin birbirleriyle olan ilişkileri önemlidir. Minimum kayıpla sevk edilen polimerin düseye girişinde hız, moment, basınç, debi, viskozite değerleri bu elemanlar aracılığıyla sağlanmalıdır. Ekstrüderin hızının normalden yavaş veya hızlı olması, ısıtıcı, sıcaklık seviyesi, viskozite, dar aralıklarda oluşan viskoz kayıplar verimliliği etkiler.

Bu çalışmada tekstil endüstrisinde kullanılan ekstrüderler incelenerek teknolojik farklılıkları ortaya konulmaya çalışılacaktır. Ekstrüderin üretimi için gerekli olan geometrik büyüklükler ve çalışma parametreleri olan vida geometrisi, radyal açıklık, frekans, moment, polimer sıcaklığı, basınç, güç, debi ve bunlar arasındaki ilişkiler incelenerek teorik çalışma için materyal oluşturulacaktır.

3.2. Metod

Ekstrüder içerisinde polimerin, katı cips halinden istenen basınç, sıcaklık ve debide sıvı polimer haline geçmesi ekstrüderin üç ana fonksiyonel bölgesinde işlem görmesiyle olur. Bu fonksiyonel bölgeler: taşıma, eritme ve pompalamanın yapıldığı bölgelerdir. Ekstrüderin toplam performansını bu üç bölge belirler. Bu üç bölgenin uyum içinde çalışması ekstrüderin performans derecesini ve ekstrüde edilen polimerin kalitesini belirler. Ayrıca ekstrüderden sonra gelen dozaj pompasının da debiyi minimum kayıpla düseye ileterek bu uyumu göstermesi gerekmektedir. Ekstrüderin bu üç bölgesinde etkili olan parametreler ve bu parametrelerin ekstrüderin toplam performansına ne oranda etkili olduğu belirlendiğinde elde edilen polimerin de verimli ve kaliteli üretimi mümkün olabilecektir.

Bu çalışmada sentetik lif üretimi genel olarak ele alınarak, polimer özellikleri, polimer eldesi, çeşitli polimerler için kullanılan üretim yöntemleri, sentetik lif üretimi incelenecektir. Ekstrüderin teorik analizinin yapılması için veri tabanı oluşturulacaktır.

Ekstrüder performansının değerlendirilmesi için; ekstrüder hattına bağlı en son eleman olan üretme kafalarından başlanarak, gerekli olan sıcaklık, basınç, debi gibi parametreler, dişli pompa ile ekstrüderin üç ana bölgesi olan taşıma, eritme, pompalama ve dozaj bölgeleri üzerinde incelenerek polimerin ekstrüder hattı boyunca olan hidrodinamik davranışı incelenmelidir. Bu çalışmada ekstrüder basınç

bölgesinde boyutsuz çalışmalar yapılmak suretiyle ekstrüder tasarım büyüklükleri ve konstrüksiyon hesapları yapılarak teorik tasarım modeli oluşturulmaya çalışılacaktır.



4. SENTETİK LİF ÜRETİMİ

Sentetik lifler petrol kökenli lifler olup, Naylon'un 1939 yılında üretilmeye başlamasıyla insan hayatına girmiş ve bu tarihten sonra hızlı bir gelişme göstermiştir. Naylon'dan sonra polyester, polipropilen, akrilik gibi liflerin kısa süre içerisinde bulunmasından sonra kullanımı da hızla artmıştır. Dünya'da üretim ve kullanımı göz önüne alındığında vazgeçilmez bir sektör olduğu görülmektedir. Günümüzde sentetik liflerin tekstilde kullanımı doğal ve selülozik polimerlerden fazla olmasıyla beraber tekstil haricinde bir çok endüstriyel ve teknik uygulamalarda da kullanımı vardır. Bu da sentetik liflerin insan hayatında çok önemli bir yeri olduğunu gösterir. Çizelge 4.1.'de sentetik ve doğal liflerin 2000 yılı itibariyle Dünya'daki üretimi görülmektedir. Buradan da görüleceği gibi toplam lif üretiminin yaklaşık %55'ini sentetik lifler, %42'si doğal lifler ve %4'ü selülozik (lyocell hariç) suni liflerdir. Sentetik lifler içerisinde ise polyesterin %57'lik bir paya sahip olması dikkat çekicidir. Pamuk ile polyesterin üretimi çizelgeden görüldüğü gibi birbirine yakın değerlerdedir.

Çizelge 4.1. 2000 yılı Dünya lif üretimi (1000 ton) (Melliand Int., 9/2001)

Sentetik lifler		Doğal lifler		Sunî selülozik	
Polyester	18912	Pamuk	19749		2755
Polipropilen	5984	Yün	1250		
Polyamid	4118	Jüt	4015		
Akrilik	2669	Rami	130		
Diğer	312	Keten	463		
		İpek	86		
Toplam	32995	Toplam	25693	Toplam	2755

Sentetik lif üretimi iki temel işlemi gerektirir. Bunlar, polimerin üretimi ve polimerin life dönüştürülmesi işlemleridir. Polimerin üretimi bir dizi kimyasal proseslerden oluşur. Üretilen polimerden lif oluşturulması ise çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Bu üretim çeşitleri esasen polimerin cinsine bağlıdır. Polimerin fiziksel özellikleri bu çalışma koşullarını belirler. Isıya karşı göstermiş oldukları davranış polimerin çekilip lif haline getirileceği prosesi belirler. Bu bölümde kısaca polimer oluşumu, elde edilen polimerlerin fiziksel özellikleri ve polimerden lif üretimi konularına değinilecektir.

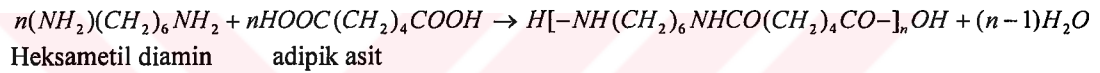
4.1. Polimer Üretimi (Polimerizasyon)

Polimer, monomer denilen moleküler ünitelerin bağlanmasıyla oluşturulan yüksek moleküllü zincirimsi yapıdır. İki tip polimerizasyon işlemi vardır. Bunlardan biri kondenzasyon polimerizasyonu olup iki fonksiyonel grubun bağlanarak küçük bir molekülün ortaya çıkmasıyla oluşur. Diğerisi ise adisyon polimerizasyonu olup aynı moleküllerin birbirine bağlanması sonucu oluşur.

4.1.1. Kondenzasyon Polimerizasyonu

Her iki ucunda reaktif veya fonksiyonel bir grup bulunan çok sayıda molekül birleşince oluşur. Tekrar ünitesi, monomerdan daha az sayıda atom içerir ve su gibi basit bir molekül ayrılır.

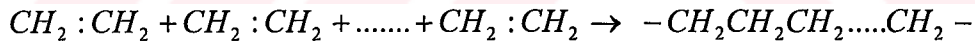
Örnek: Naylon 6.6



4.1.2. Adisyon Polimerizasyonu

Tekrar ünitesi monomer ile aynıdır. Kimyasal bağların yeniden düzenlenmesi ile elde edilir.

Örnek: Polietilen



Etilen

Polietilen

4.2. Lif çekimi

Polimerizasyon işlemiyle polimer elde edildikten sonra bu polimerlerden lif elde etmek için polimerin uygun ortamda işlenmesi ve çekilmesi gerekir. Bu işlemlere geçilmeden önce ise polimerin muhafaza edilmesi veya depolanması gerekebilir. Kurutulan ve küçük kalıplar halinde oluşturulan katı parçacığa (granül) **cips** adı verilir. Bu işlemler genellikle kesintili çalışan işletmelerde uygulanır. Kesintisiz çalışan entegre tesislerde ise polimer üretiminden hemen sonra lif üretimine geçilebilmektedir.

Lif oluşturuucu polimerlerin filamentlere dönüştürülmesinde iki temel yol kullanılabilir. Bunlar:

- Çözeltiden lif çekimi
- Eriyikten lif çekimi'dir

Çözeltiden lif çekimi polimerin bir çözelti içerisinde çözündürülmesi ve buradan polimerin çekilerek kurutulması sonucu yapılırken eriyikten lif çekimi polimerin eritilerek bir kalıp içerisinde zorlamak suretiyle basınç kazandırıp ince delikli bir cisim içerisinde geçirmekle yapılır.

Polimerler ısıya karşı gösterdikleri davranışa göre **Termoplastik** ve **Termoset** olarak ikiye ayrılırlar. Termoplastik polimerler ısı etkisinde yumuşayarak şekil verilebilen ve verilen şekli soğutma işleminden sonra muhafaza edebilen polimerlerdir. Termoset polimerler ise ısı etkisinde katılaşarak özelliğini kaybeden, ancak bir çözelti içerisinde çözündükten sonra lif haline getirilebilen polimerlerdir (Koç, E., 2003). Eriyikten lif çekimi termoplastik polimerlerle yapılırken çözeltiden lif çekimi termoset polimerlerle yapılabilmektedir. Çözeltiden lif çekimi kuru ve yaş çekim metotlarıyla yapılmaktadır. Kuru çekimde çözelti içindeki çözücü buharlaştırılarak lif elde edilirken yaş çekimde çözelti uygun bir banyo içerisinde geçirilmek suretiyle katılaştırma işlemi olur ve lif oluşturulur. Çekilen lif daha sonra germe-çekme, fikse gibi çekim sonrası işlemler görür. Çizelge 4.2.'de eriyikten ve çözeltiden çekilen lifler gösterilmektedir. Naylon 6, Naylon 6.6, Polyester, Polipropilen eriyik haline getirilip çekilirken, selülöz asetat, selülöz triasetat, lycra çözeltiden kuru çekim ile, modakrilik, rayon, vyrene çözeltiden yaş çekim ile elde edilebilmektedir. Akrilik hem kuru hem de yaş çekim ile üretilebilen bir liftir.

Polimerik liflerin üretiminde, eriyik veya bir çözelti halindeki polimer, 0.004-0.02 cm aralığındaki çapa ve çapın 3-4 katı kadar uzunlukta kapilerden (**düse**) basınç altında itilir. Akışkan, kapilerden filament şeklinde çıkar. Daha sonra genellikle azalan kesite sahip ince bir filament olacak şekilde katılaşır ve bir sarıcıya çekilir. İşlemden kullanılan düsede bir delik varsa **filament** birden çok delik varsa **multifilament** üretimi vardır.

Çizelge 4.2. Farklı çekim yöntemine göre üretilen polimerler

Eriyikten lif çekimi	Çözeltiliden lif çekimi	
	Kuru çekim	Yaş çekim
Naylon 6	Selülöz diasetat	Akrilik
Naylon 6.6	Selülöz triasetat	Modakrilik
PET (polyester)	Akrilik	Rayon
PP (polipropilen)	Poliüretan (Lycra)	Poliüretan (Vyrene)
Polietilen	Polivinil klorid	Polivinil alkol

1883 yılında J.W. Swan, selülöz nitrati soğuk asetik asit içerisinde geçirerek eğirme jeti içinde zorlamak suretiyle filament elde etmeyi başarsa da, ilk suni lif olan Rayon'u selülöz nitrati alkol/eter çözeltisinden geçirerek filament haline getirmeyi başaran Chardonnet olmuştur (Marjory, J.L.,1988). Katılaştıran filamentin üzerindeki çözeltinin buharlaşması beklenmiştir. Burada katılaştırma işlemi çözücünün buharlaştırılmasıyla elde edildiğinden buna **kuru çekim** denilmektedir.

İkinci lif üretim metodu viskoz işlem olmuştur. Selülöz çözeltisi kimyasal koagülasyon ile katılaştırılır. Poliakrilonitril genellikle bu yöntem ile çekilmektedir. Bu metoda da **yaş çekim** denilmektedir. Kuru ve yaş çekim, çözeltiliden lif çekimi işlemleridir.

Eriyikten lif çekiminde katılaştırma işlemi soğutma ile gerçekleşir. PET (polyester), polietilen, naylon 66, naylon 6 ve PP (polipropilen), eriyikten lif çekim metoduna göre lif halinde çekilmektedir. Çözeltiliden lif çekimi eriyikten lif çekimine göre daha uzun ve zor bir işlemdir. Çünkü burada çözeltiyi oluşturma, çözeltiyi filament üzerinden uzaklaştırma ve çözeltiyi tekrar kazanma gibi problemler vardır. Eriyikten lif çekiminde ise eriyiğin oluşturulması ve katılaştırılması sadece ısı transferi gerektirir. Sonuç olarak hızlı üretim sağlanır ve eriyikten lif çekimiyle daha hızlı bir üretim sağlanır.

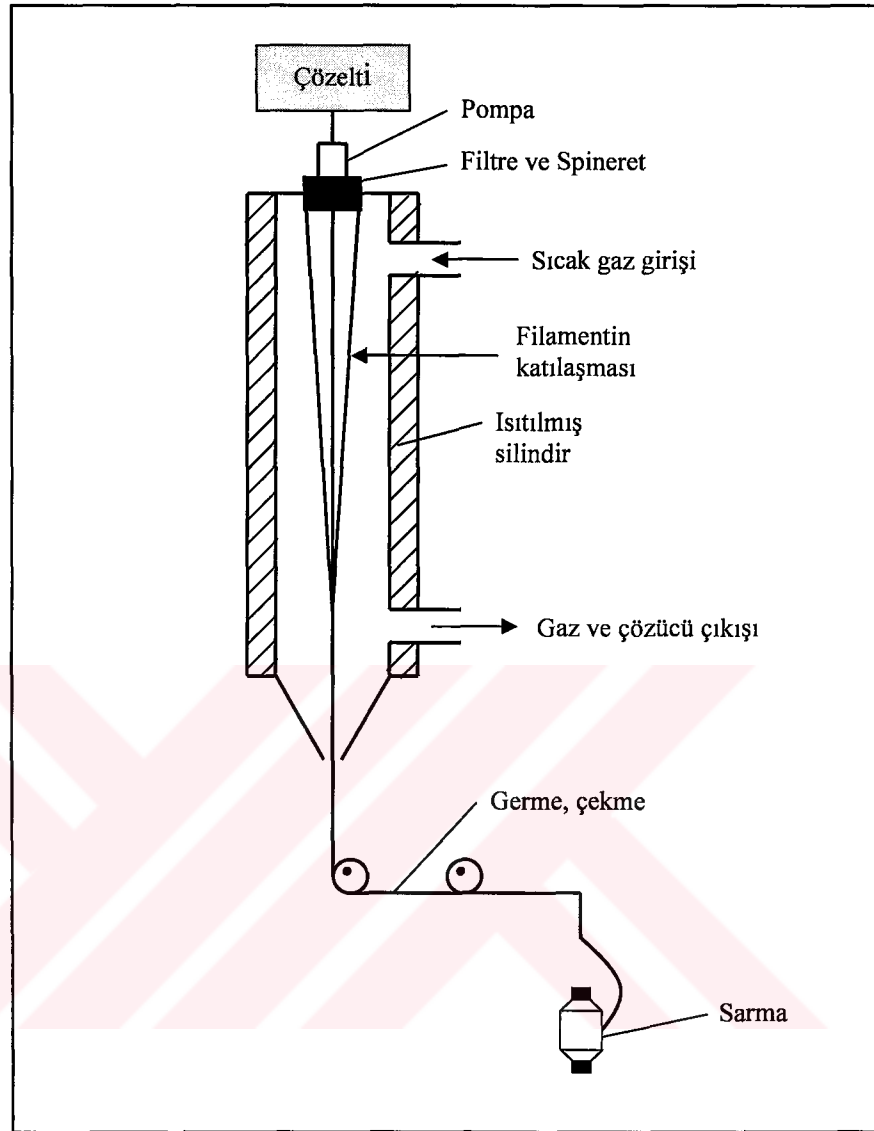
4.2.1. Çözeltiliden lif çekimi

Eğer bir polimer uygun şartlar altında eritilebiliyorsa, eriyikten lif çekimi ile lif haline dönüştürülmesi çözeltiliden lif çekimi işlemlerine göre tercih edilir, çünkü eriyikten lif çekiminde çözücü kullanımı gerekmez. Çözücülerin uzaklaştırılması,

geri çevrilmesi ve bununla ilgili çevresel önlemler ve düşük lif çekim hızları çözeltiden lif çekiminde görülen problemlerdir. Polimerin erimeden önce bozunduğu veya termal olarak dengesiz olduğu durumlarda eriyikten lif çekimi yapılamaz ve çözeltiden lif çekimi uygulanır. İşlemin tipi çözücünün ısıtma ile buharlaştırılması (**kuru çekim**) veya lif çekim çözücüsü ile uyumlu olan fakat polimerin kendisi için bir çözücü olmayan bir diğer sıvı içerisinde banyo (koagüle) edilmesi (**yaş çekim**) ile belirlenir.

4.2.1.1. Kuru Çekim

Çözelti içindeki çözücünün filtre ve spinerettten geçtikten sonra sıcak hava ile buharlaştırılması sonucu polimerin katılaşması ile lif elde etme yöntemine **kuru çekim** denilmektedir. Burada ilk adım lif çekim çözeltilisinin hazırlanmasıdır. Şekil 4-1’de görüldüğü gibi hazırlanan çözelti bir pompa vasıtasıyla filtre ve spineret başlığına gönderilir. Dış kısmı ısıtılan ve içine sıcak hava sevk edilen bir silindir içerisine spineretten çıkan filament giderek katılaşmaya başlar. Burada katılaşan filamentin üzerinden çözücü buharlaşır. Çözücü ve hava silindir içerisinde sirkülasyon yaptıktan sonra çözücünün yeniden kazanılması için dışarıya sevk edilir. Kuru çekim işleminde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta silindir içerisine gönderilen sıcak havanın çözücünün kaynama noktasından fazla olması gerektiğidir, aksi halde çözücü buharlaşamaz ve çekim işlemi yapılamaz. Çözücünün genellikle pahalı olması yeniden kazanılmasını zorunlu kılmaktadır. Çözücünün çözme gücü yüksek olmalıdır. Ayrıca, çözücü uçucu olmalı, pahalı olmamalıdır, yanmaya karşı önlemler alınmalıdır. Çizelge 4.3.’te bazı tipik polimer-çözücü kombinasyonları verilmiştir. Buradan görüldüğü üzere Selülöz asetat için çözücü olarak kaynama sıcaklığı 56 °C olan aseton kullanılırken, selülöz triasetat için kaynama sıcaklıkları sırasıyla 40.7, 78.4, 64.8 olan Metilen klorid, Etil veya metil alkol; Poliakrilonitril ve Spandex için 153°C kaynama sıcaklığı olan DMF, Polivinilalkol için ise su kullanılmaktadır.



Şekil 4.1. Tipik bir kuru çekim ünitesi

Çizelge 4.3. Kuru çekim için bazı polimer çözücü kombinasyonları ve çözücü kaynama noktaları (Gupta V.B.,)

Çekilmiş Polimer	Çözücü	Kaynama Noktası (C^0)
Selülöz asetat	Aseton	56
Selülöz triasetat	Metilen klorid, Etil veya metil alkol	40.7-78.4-64.8
PVC (Polivinil klorid)	Aseton ve karbon disülfid karışımı	39
PAN (Poliakrilonitril)	DMF (Dimetilformamid)	153
Spandex	DMF (Dimetilformamid)	153
Polivinil alkol	Su	100

Çözeltinin içindeki polimer konsantrasyonları; Selülöz triasetat için %20, selülöz asetat ve poliakrilonitril (PAN) için %25, PVC için %30 olmaktadır.

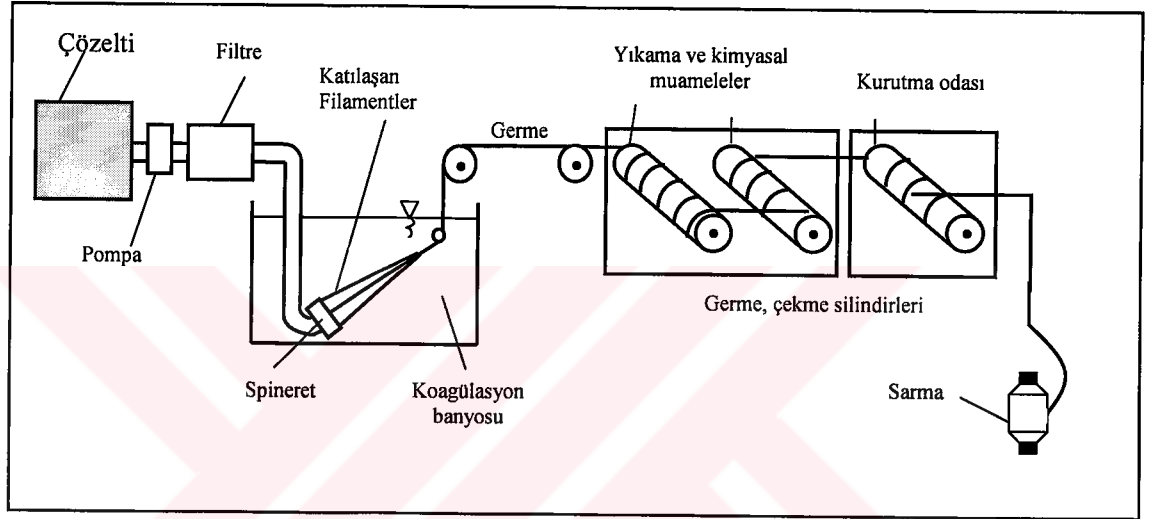
Kuru çekim ile oluşturulan filamentlere örnek teşkil etmesi bakımından, Akriklik olarak bilinen Poliakrilonitril için bazı üretim aşama ve parametreleri şöyle sıralanabilir (Welfers, E.,1978):

- %25...30'luk DMF ile Poliakrilik çözeltisi oluşturularak ön ısıtma yapılır.
- Dişli pompa 10...15 bar arasında çalışır, düsedde sıcaklık 130^0C 'ye kadar çıkabilir.
- Isıtılmış silindir 4...8 m. boyundadır.
- Isıtıcı gazın sıcaklığı $310...400^0C$ arasındadır. Gaz içinde oksijen bulunmamalıdır. DMF'nin silindir boyunca buharlaşması %70...80 arasındadır. Silindir çıkışında ise % 10...15'lik bir buharlaşma sağlanır.
- Üretim kapasitesi 250...500 m/dak olabilmektedir.

4.2.1.2. Yaş Çekim

Çözelti içerisindeki polimerin katılaştırılmasının bir sıvı banyosunda gerçekleştirilmesiyle yapılan çekime **yaş çekim** denilmektedir. Şekil 4.2.'de yaş çekime örnek bir üretim şeması görülmektedir. Burada polimerin çözelti içinde çözünmesinden sonra elde edilen çözelti pompa, filtre ve spinerete gelir. Daha sonra **koagülasyon banyosundan** geçerek katılaşması sağlanır ve filament elde edilir.

Katılaşan ve üzerindeki çözücünün bir kısmı uzaklaştırılan filament daha sonra çözücünün kalan kısmının uzaklaştırılması için yıkama ve kurutma işlemlerine maruz bırakılır. Kuruyan ve üzerindeki çözücü uzaklaştırılan filament istenen şekilde sarılır veya kesikli lif haline gelmek üzere kesilir. Burada koagülasyon banyosunun sıcaklığı kuru çekime nispeten düşüktür. Pompada verilen basınç da düşük seviyededir. 2.000...100.000 deliğe sahip düse başlıkları kullanılabilir (Welfers E., 1978).



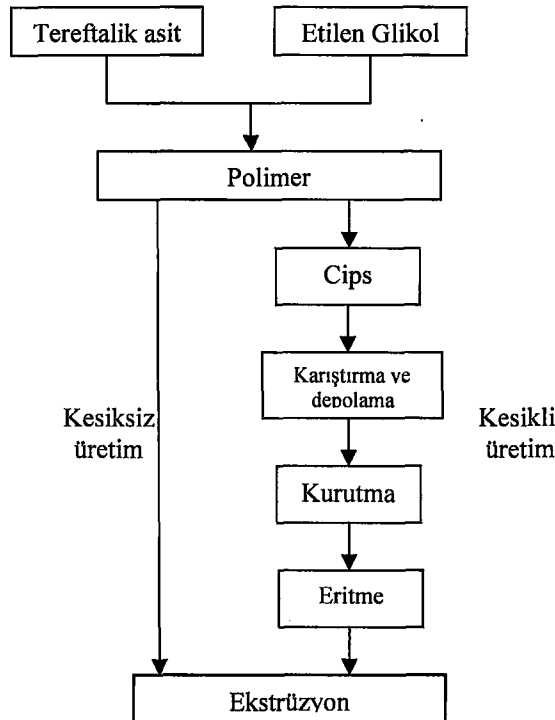
Şekil 4.2. Tipik bir yaş çekim ünitesi

Yaş çekime örnek olarak, kuru çekim ile de filament haline getirilebilen Poliakrilonitril'in (Akrilik) bazı üretim aşama ve parametreleri şöyle sıralanabilir (Welfers E., 1978).

- Poliakrilik çözeltisi derişimi % 20...35 arası ve sıcaklık 18...25°C arası olmalıdır.
- Spineret başlığına gelen polimerin basıncı 7...12 bar arasında olmalıdır.
- Koagülasyon banyosunda DMF/H₂O oranı yaklaşık olarak % 50/50 olmalıdır. Sıcaklık 18...35°C olmalıdır.
- Spineret başlığındaki delik sayısı 3.000...100.000 arasında değişir. Delik çapı ise 0.07...2 mm arasındadır.
- 70 m/dak üretim hızı sağlanabilir.

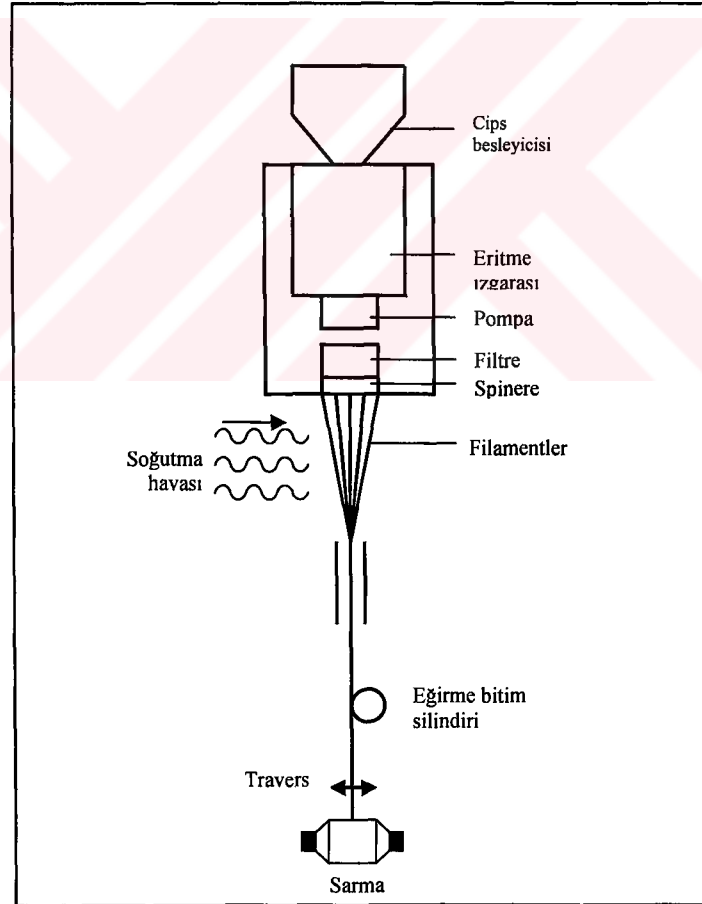
4.2.2. Eriyikten Lif Çekimi

Eriyikten lif çekimi en basit üretim yöntemidir. Çünkü çözücü kullanılmadan lif çekimi yapılır. Polimer eritilir ve uygun şartlarda lif çekme başlıklarında çekildikten sonra soğutularak lif haline getirilir. Şekil 4.3.'te Eriyikten çekme metoduna örnek olarak tipik bir polimer üretim akışı gösterilmektedir. Şekil 4.5.'te ise üretim akışı şematik olarak gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi Tereftalik asit ve Etilen Glikol'ün polimerizasyon işlemiyle polimer, Polietilentereftalat (PET), oluşturulur ve kesiksiz üretim için direkt ekstrüdere gönderilir. Kesikli üretim için ise cips haline getirilen polimer karıştırma işleminden sonra karıştırılarak depolanır daha sonra kurutularak istendiği zaman ekstrüdere beslenerek eritilir ve üretim yapılır. Polimer üretiminden hemen sonra filament üretimine geçilen kesiksiz entegre üretimde polimer direkt olarak eriyikten çekme ünitesine gelir. Kesikli üretimde ise polimer elde edildikten sonra cips denen küçük katı parçacıklar haline getirilir ve üretilecek yere sevk edilir. Polimer granülleri veya cipsleri eriyikten lif çekimi için başlangıç maddesini oluşturduğunda ilk olarak kurutulur ve **ekstrüderde** eritilir. Kontinü (sürekli) lif çekiminde polimerizasyon ile üretilen homojen ve çekilebilir eriyik direkt olarak dişli pompa aşamasında lif çekim makinasına yollanır. Kontinü olmayan lif çekiminde cips veya granül oluşturulur.



Şekil 4.3 Tipik bir polimer üretim akışı

Polyamid liflerin elde edilmesi için geliştirilen ve ilk polyester lif çekim tesislerinde de kullanılan **eritme ızgaraları** basit bir yöntem olup yeni tesislerde yerlerini tamamen ekstrüderlere bırakmışlardır. Eritme ızgaralarının esasını ısıtılabilen borular oluşturmaktadır. Borular arasındaki mesafe, cipslerin geçmesine müsaade etmeyecek fakat eriyiğin aşağıya sızmasını sağlayacak şekilde ve genellikle birkaç mm. civarındadır. Boruların ısıtılması ise basınçlı su buharı veya difenil ile yapılabileceği gibi elektrik enerjisi ile de yapılabilir. Şekil 4.4.'te basit bir eriyikten lif çekim ünitesi şematik olarak gösterilmiştir (Marjory, J.L.,1988). Burada eritme ızgaralarında eritilen polimer pompa, filtre ve spinneretten geçtikten sonra hava ile soğutulurak lif haline getirilir. Daha sonra bitim işlemleri uygulanarak sarıcıya sarılır.



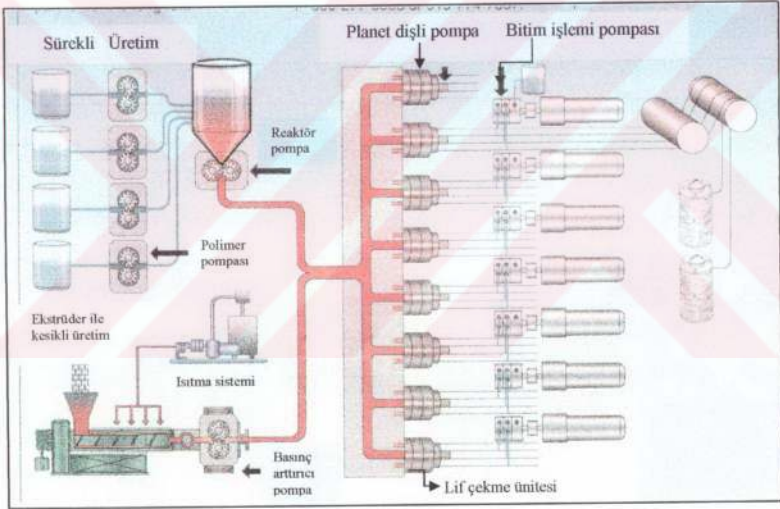
Şekil 4.4. Basit bir eriyikten lif çekim ünitesi (Marjory, J.L.,1988)

Eritme ızgarası içinde yeterli karıştırmanın sağlanamaması polimer içinde farklılıklara yol açmaktadır. Eriyik sıcaklığı bakımından homojen bir yapı

oluşamamaktadır. Ayrıca basınç düzeyi de düşük olduğundan eritme ızgaraları artık hiç kullanılmamaktadır ve bunların yerini ekstrüderin kullanıldığı sistemler almıştır

4.2.2.1. Eriyikten Lif Çekiminde Ekstrüder

Eriyikten lif çekimi ile filament oluşturulması, daha önce de belirtildiği üzere polimerizasyon işleminden hemen sonra yapılabileceği gibi polimerden elde edilen cipslerin ekstrüderde işlem görmesiyle de yapılmaktadır. İlk işleme kesiksiz veya sürekli üretim; ekstrüderin kullanıldığı ikinci işleme ise kesikli üretim denilmektedir. Şekil 4.5. kesikli ve sürekli üretim sistemlerini bir arada göstermektedir.



Şekil 4.5. Sürekli ve kesikli (ekstrüder ile) filament üretimi (Zenith Pumps)

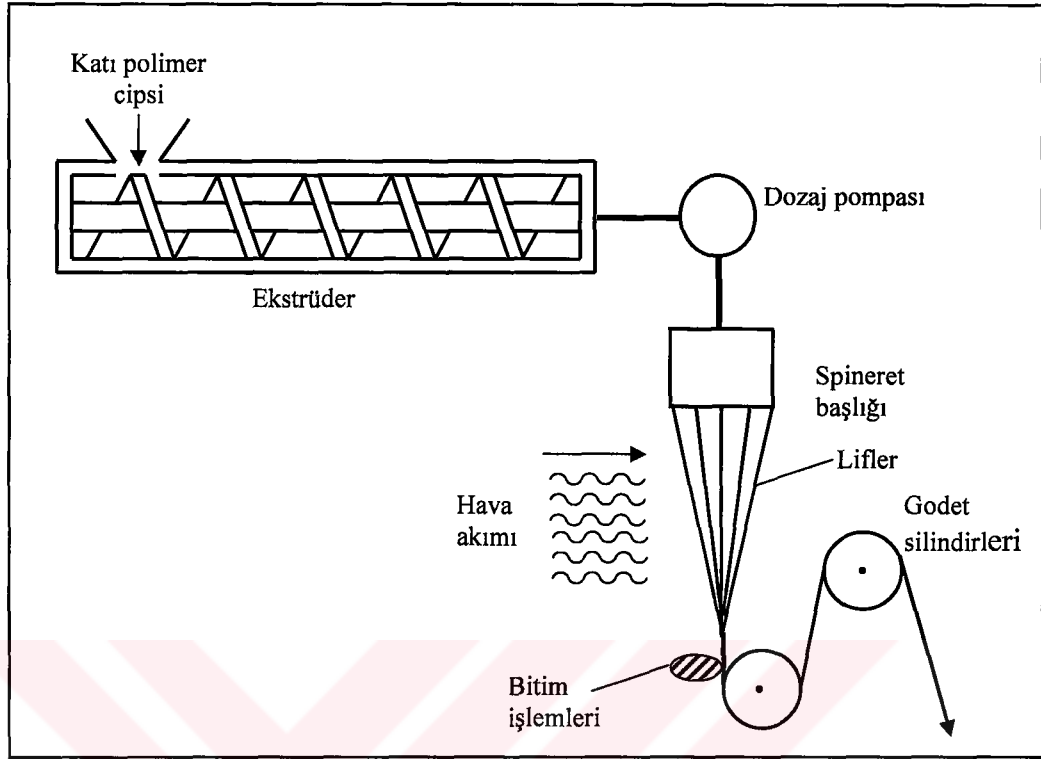
Sürekli üretimde, şekilden de görülebileceği gibi polimerizasyon işleminden sonra sıvı haldeki polimer, basınç artırıcı pompadan geçerek bir haznede toplanır ve buradan çıkışta bir reaktör pompa içerisinde işlem görerek basınç ve sıcaklık değerlerinin istenen seviyede olması sağlanır.

Kesikli üretim ise ekstrüderin ana eleman olarak kullanıldığı sistemdir. Burada ekstrüder polimeri eritip karıştırarak belirli bir basınç ve viskoziteye

ulaştırmak suretiyle çıkışa doğru zorlar. Buradan basınç arttırıcı dozaj pompasına (dişli pompa) sevkedilen polimerin basıncı arttırılır.

Kesikli ve sürekli üretim hattından belli bir sıcaklık, basınç, debi, viskozite değerindeki polimer 2...8 lif çekme ünitesine beslenir. Şekilden görüldüğü gibi her bir lif çekme ünitesinde, düşe ve filtreden önce, bir planet dişli pompa bulunmaktadır. Bu pompa her üretim sisteminde kullanılmasa da, hassas basınç ve sıcaklık değerlerini yakalamak için avantajlıdır. Her bir planet dişli pompa 1...6 düşeyi besler. Burada planet (uydu) dişli sayısı beslenecek düşe sayısını belirler (Bkz. 4.3.1 Pompa). Filtreden geçerek düşeye iletilen polimer, buradan nihai basınçta geçer ve soğutma bölümünde filament halini alır. Daha sonra bitim işlemleri yapılır. Bitim işlemlerinden sonra isteğe bağlı olarak ştapel lif üretilir veya filament halinde sarılarak iplik üretimi yapılabilir.

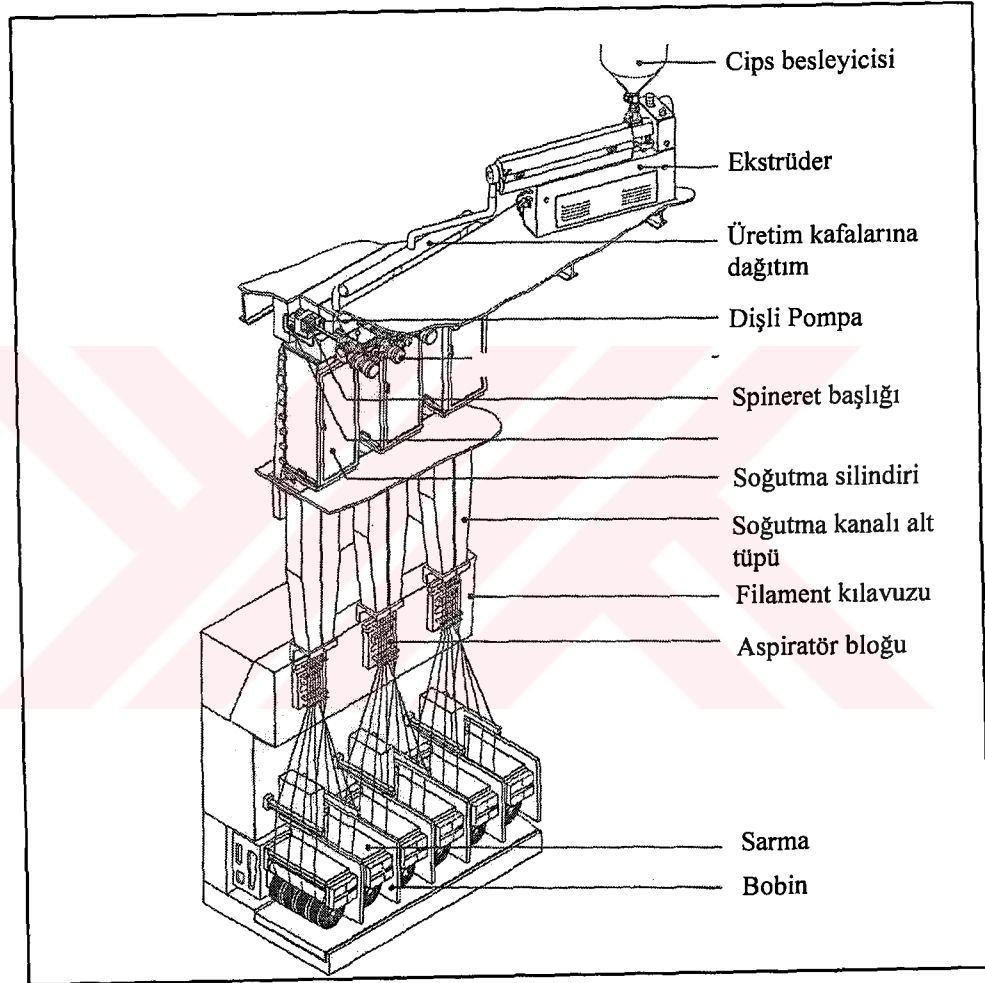
Şekil 4.6.'da ekstrüderin kullanıldığı eriyik çekme ünitesi şematik olarak gösterilmektedir. Şekil 4.4.'te gösterilen eritme ızgaralarının kullanıldığı sistemden farklı olarak eritme işlemi burada ekstrüder ile gerçekleştirilir. Ekstrüderden dozaj pompasına iletilen polimer basınç kazanarak lif çekme ünitesine ulaşır ve çıkışta hava ile soğutularak filament elde edilir.



Şekil 4.6. Ekstrüder ile eriyikten lif çekimi

Ekstrüderden gelen eriyiğin sıcaklığı lif çekim ünitesine gelinceye kadar hep aynı seviyede kalmalıdır. Bu nedenle lif çekme ünitesi ısıtmakta ve ısıtma genellikle sıcak gaz (difenil) veya elektrik ile olmaktadır. Lif çekme ünitesinde karşılaşılan bir diğer sorun da polimerin homojenitesinin bozulması tehlikesidir. Bu tehlikeyi önlemek için lif çekme ünitelerine statik karıştırıcıların konulması gittikçe yaygınlaşmaktadır. İdeal durumda her boru ayırımından ve her lif çekme pompasından önce bir statik karıştırıcı konulması gerekmektedir. Dağıtma boruları üzerinden lif çekme ünitesine gelen polimer eriyiği ilk olarak pompa bloğu'na iletilmektedir. Pompanın görevi belli basınçta polimeri sevk etmektir. Eriyik buradan filtrelelere geçirilir. Filtre düşe bloklarında düşenin hemen üzerindedir. Görevi anlaşılacağı üzere polimer içerisinde bulunabilecek yabancı maddeleri temizlemek ve düşenin tıkanmasını önlemektir. Filtrelenerek temizlenen polimer düşeye gelir. Düşe eriyiğin filament biçiminde akmasını sağlayan küçük çaplı deliklere sahip elemandır. Buradaki delik sayısı ve çapı üretim hızını ve performansını belirler (Tarakçıoğlu I., 1986).

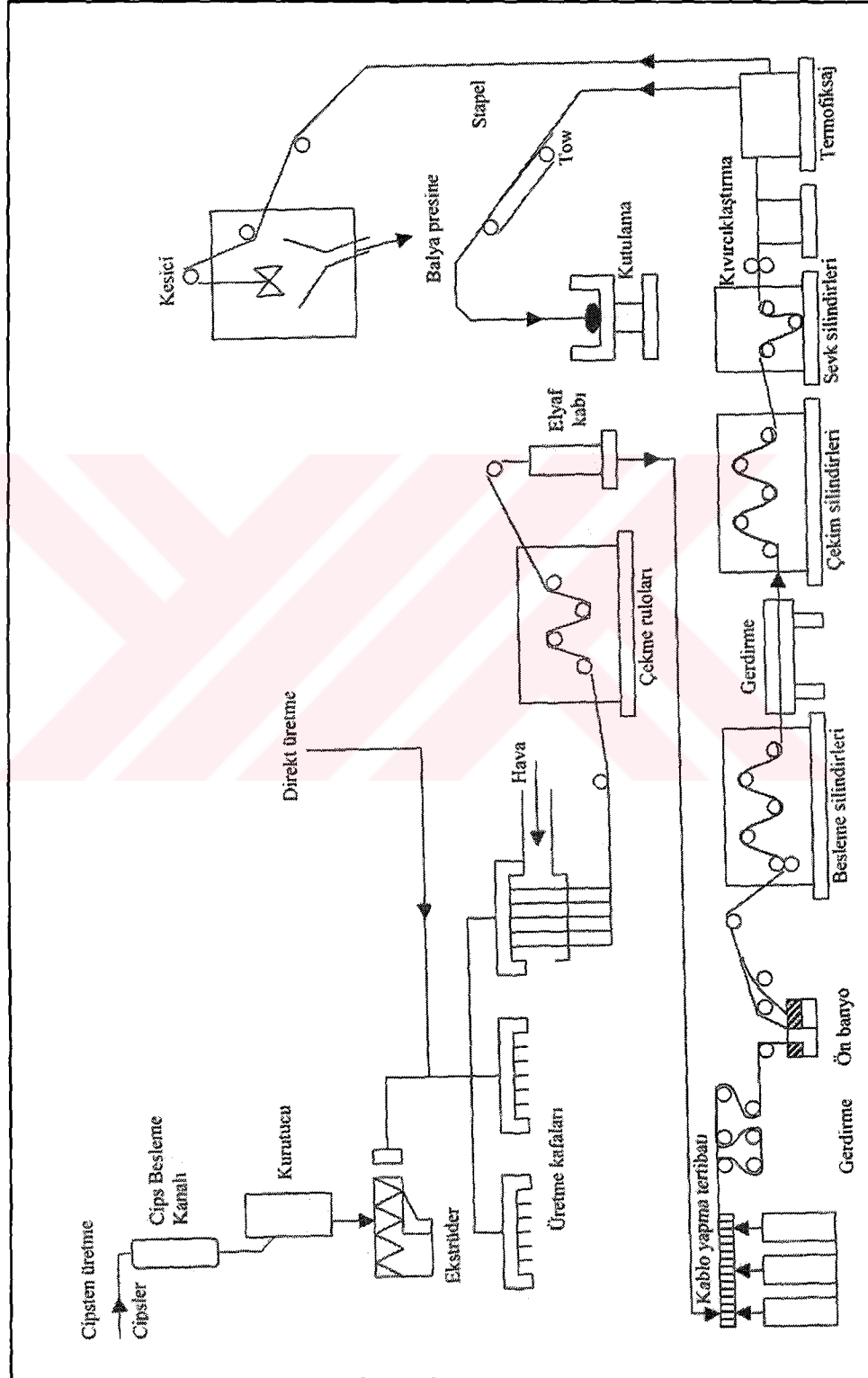
Şekil 4.7.'de ekstrüderin de bulunduğu tipik bir eriyikten lif çekim ünitesi görülmektedir. Ekstrüderden belli bir basınçta ayrılan polimer üretim kafalarına dağıtılır. Buradan dozaj pompası ile (dişli pompalar kullanılır) daha da basınç kazanan polimer lif çekme ünitesine gelir. Çekilen polimer soğutma kanalına ulaşır, burada soğutularak filament halini alır ve kılavuzlardan geçirilerek bobinlere sarılır.



Şekil 4.7. Tipik bir eriyikten çekme ünitesi (Barmag AG)

Yukarıda bahsedilen eriyikten lif çekme aşamaları en genel şekilde Şekil 4.8.'deki gibi özetlenebilir. Burada polimer lif haline geldikten sonra çeşitli ard işlemler yapılmaktadır ve polyester tow ve kesikli lif üretimi aşamaları gösterilmektedir. Lif çekim başlıklarına dağıtılan polimer, düselerden püskürtülüp hava ile katılaştırılarak lif formuna dönüştükten sonra katılaştıran liflere bir silindir ile kimyasal verilerek çekim işlemi uygulanmakta ve ardından bütün lif uçları enjektörle çekilerek kovalara doldurulmaktadır (Yıldırım H., 2000). Lif elde edildikten sonraki

işlemler bu tezin kapsamı dışında olduğundan ard işlemlere ve iplik üretimine değinilmeyecektir.



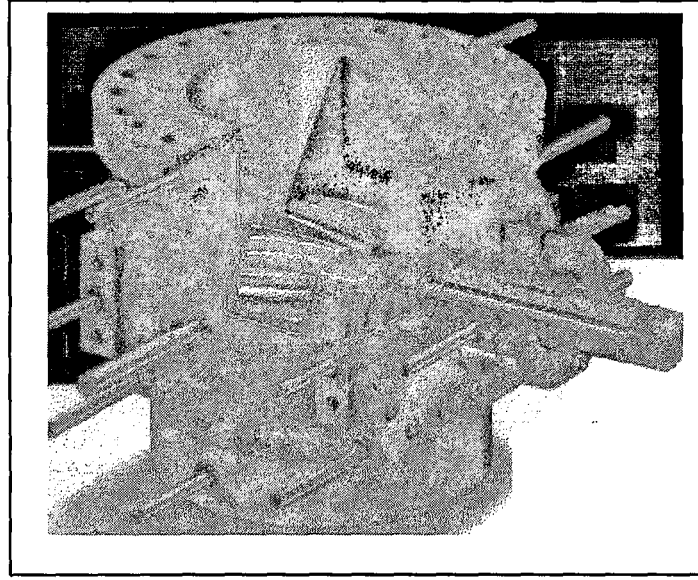
Şekil 4.8. Polyester tow ve kesikli elyaf üretiminin şematik gösterimi (Yıldırım H., 2000)

4.3. Ekstrüder Sonrası Lif Çekim Sistemi Elemanları

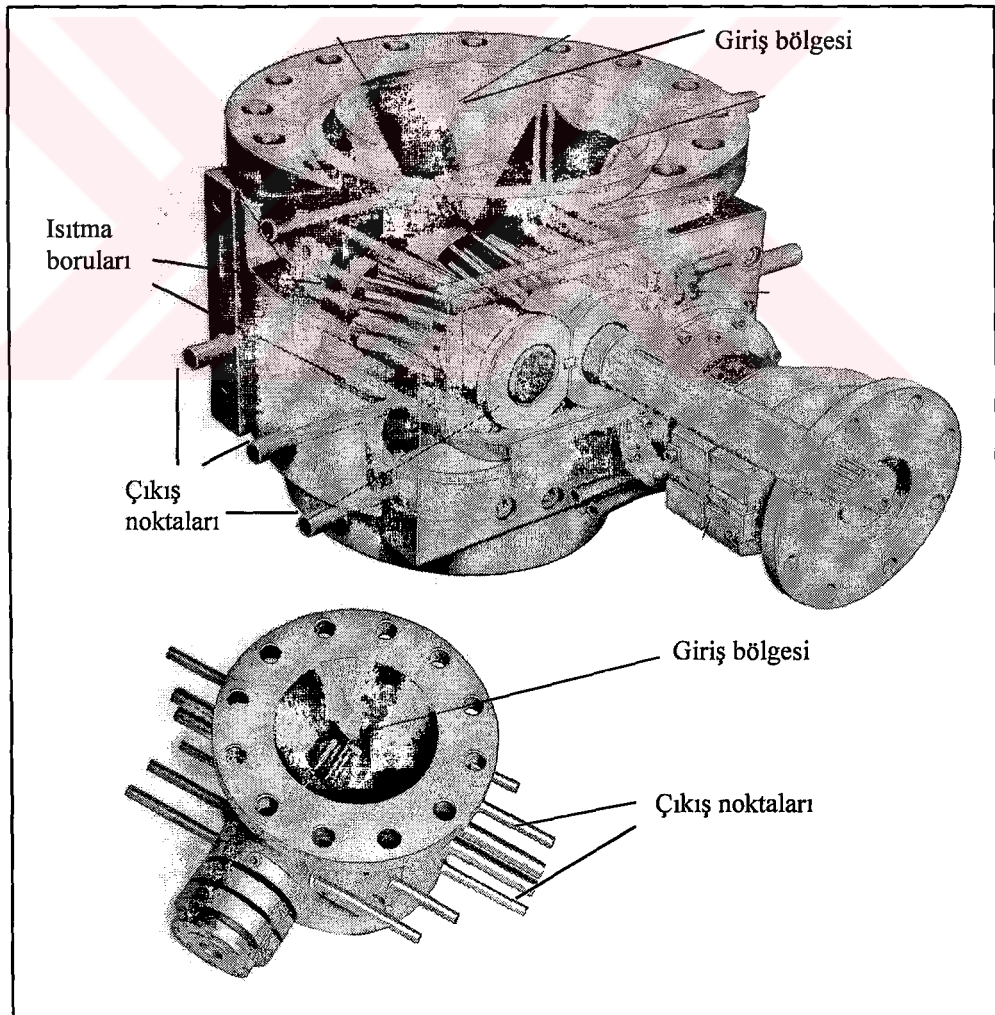
Lif çekim sistemi elemanları pompa, lif çekim ünitesi (pompa, filtre ve düse), soğutma kanalından oluşur. Ekstrüderden gelen belli basınç ve viskozitedeki polimerin basıncı yükseltip düse başlığına iletilir ve buradan soğutma bölümüne oluşturulan filament sevk edilir. Soğutma kanalları içinde filament üzerinden ısı uzaklaştırılır ve katılaştırılır. Daha sonra isteğe bağlı olarak kesikli (ştapel) lif veya sürekli filament olarak üretim gerçekleştirilebilir.

4.3.1. Pompa

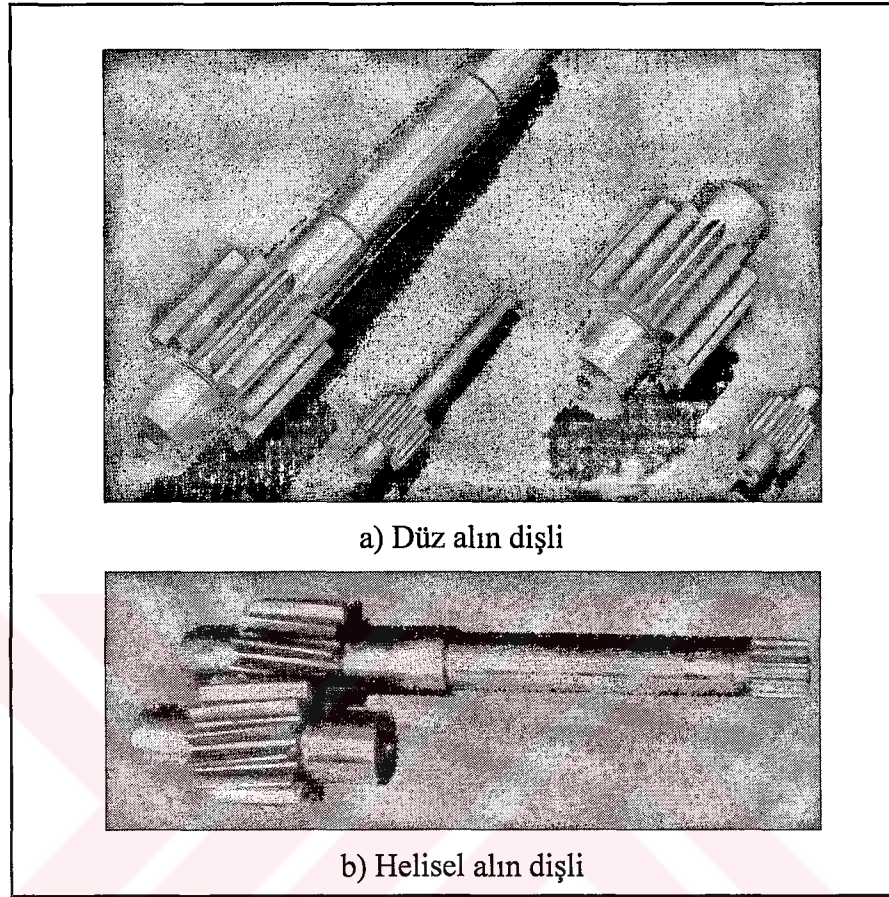
Eritme ızgarasıyla çalışan eski tesislerde, lif çekme ünitesinde birincisi basınç, ikincisi dozaj pompası olmak üzere iki ayrı pompa bulunmaktadır. Bu sistemler artık kullanılmamaktadır. Ekstrüderle çalışan tesislerde ise, ekstrüder gerekli ön basıncı sağladığından yalnızca bir dozaj pompası yeterli olabilmektedir. Lif çekim ünitesinde ayrıca bir planet dişli pompa da kullanılabilir. Termoplastik liflerin çekiminde kullanılan dozaj pompaları çoğunlukla dişli çark pompalarıdır. Şekil 4.9.'da modern bir dişli dozaj pompası görülmektedir. Burada görüldüğü gibi pompa çıkışında polimer dağıtımı birden çok noktada olmakta ve çıkan polimer birkaç lif çekme ünitesine gönderilmektedir. Normal hidrolik dişli pompalardan farkı dağıtımın birden çok noktada olmasıdır. Buradan görüleceği üzere giriş kısmı oldukça geniştir ve çıkış küçük çaplı borularla sağlanmaktadır. Şekil 4.10.'da pompa geometrisi daha iyi görülebilmektedir. Burada ısıtma sistemleri pompa içerisinde mevcut olup pompa içerisinde işlenen polimer sıcaklığı sabitlenir. Şekilden de görüldüğü gibi, polimer dişli çevresindeki birkaç noktadan pompayı terk ederek lif çekme ünitesine nihai basınç ve sıcaklık değerlerini kazanarak hareket eder. Şekil 4.11.'de ise dozaj pompalarında kullanılan düz ve helisel alın dişlileri görülmektedir. Dozaj pompalarında genellikle helisel alın dişli kullanılır. Helisel alın dişlinin daha az gürültü ile çalıştığı bilinmektedir.



Şekil 4.9. Dozaj pompası (Yıldırım, H., 2000)



Şekil 4.10. Dozaj pompası giriş çıkış noktaları (LCI Pumps)



Şekil 4.11. Dozaj pompasında kullanılan dişli profilleri (Zenith Pumps)

Çizelge 4.4.'te değişik polimerlerin pompa çıkışındaki sıcaklık ve viskozite değerleri gösterilmiştir. Buna göre Polistiren 190 °C'de 45000 poise viskozitede, Polikarbonat ise 320 °C'de 1080 poise viskozitede pompayı terk etmektedir. Polipropilen için ise viskozite değeri 6790 poise olmaktadır.

Çizelge 4.4. Değişik polimerlerin pompa içindeki sıcaklık ve dinamik viskozite değerleri (Murphy, M.W., Stallings, T.H., McKelvey, M.J., 1998)

Polimer	Sıcaklık (C°)	η [Poise]
Polistiren	190	45000
Polipropilen	180	6790
HD Polietilen	180	6190
LD Polietilen	180	5210
Polikarbonat	320	1080

Yukarıdaki çizelgede yer alan polimerlerin viskoziteleri hakkında fikir sahibi olmak amacıyla Çizelge 4.5.'te çok bilinen bazı sıvı akışkanların değişik sıcaklıklardaki dinamik viskozite değerleri verilmiştir. Polikarbonat, 320 °C'de 1080 poise viskozitede iken su, 27 °C'de 857 poise viskozitede olmaktadır. Dolayısıyla polikarbonatın 320 °C'de suya yakın bir akıcılıkta olduğu görülür. Polisitrenin ise 190 °C'de çok yüksek bir viskozitede (45000 poise) ve akışkanlığının az olduğu görülmektedir. Çizelge 4.5.'te görüleceği üzere sıvı akışkanlarda sıcaklık yükseldikçe viskozite düşmektedir. Gaz akışkanlar için ise sıcaklığın artmasıyla viskozite artmaktadır. Bu durum Çizelge 4.6.'da gösterilmiştir. Polimerlerin yüksek sıcaklıklarda bile viskozitelerinin çok yüksek değerlerde olması akışkanlığının az olduğunu, yani kayma/kesme geriliminin fazla olduğunu gösterir.

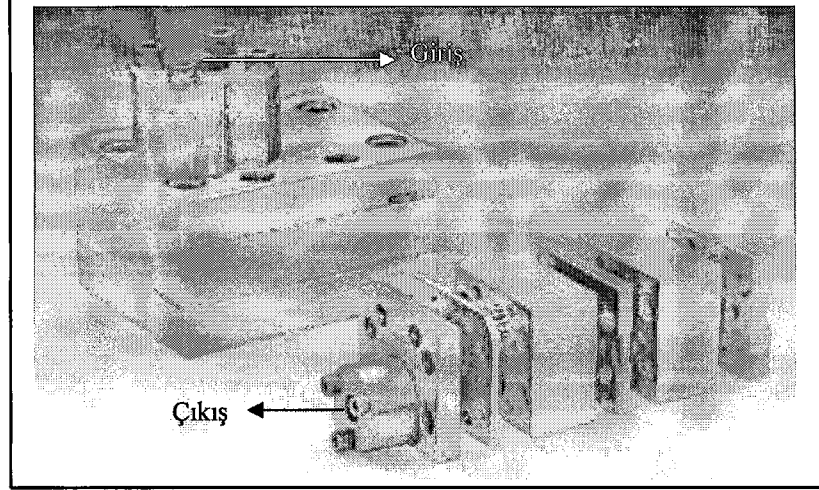
Çizelge 4.5. Seçilmiş bazı sıvı akışkanların değişik sıcaklıklardaki dinamik viskozite (η) değerleri [Poise] (Shetz, J.A., Fuhs, A.E., 1996)

Sıcaklık Akışkan	27 °C (300 °K)	57 °C (330 °K)	77 °C (350 °K)	97 °C (370 °K)	117 °C (390 °K)
Su	857	492	369	292	13
Benzin	43	31	27	21	18
Motorin	150	91	69	56	45
Yağlama yağı	36.25	43.4	15.8	7.01	3.6

Çizelge 4.6. Seçilmiş bazı gaz akışkanların değişik sıcaklıklardaki dinamik viskozite (η) değerleri [microPoise] (Shetz, J.A., Fuhs, A.E., 1996)

Sıcaklık Akışkan	27 °C (300 °K)	127 °C (400 °K)	227 °C (500 °K)	327 °C (600 °K)	427 °C (700 °K)
Karbondioksit (CO ₂)	150	197	240	280	317
Hidrojen (H ₂)	89	109	127	144	160
Amonyak (NH ₃)	103	137	172	206	239
Azot (N ₂)	179	222	260	295	327
Oksijen (O ₂)	206	257	303	344	383

Şekil 4.12.'de kuru ve yaş çekimde kullanılan pompalar görülmektedir. Bu pompaların sağladığı basınç, eriyikten lif çekme metodunda kullanılan pompadan daha düşük seviyededir. Kuru ve yaş çekimde her pompa bir düseyi beslediği için burada kullanılan lif çekim pompalarında bir giriş ve bir de çıkış noktası vardır.



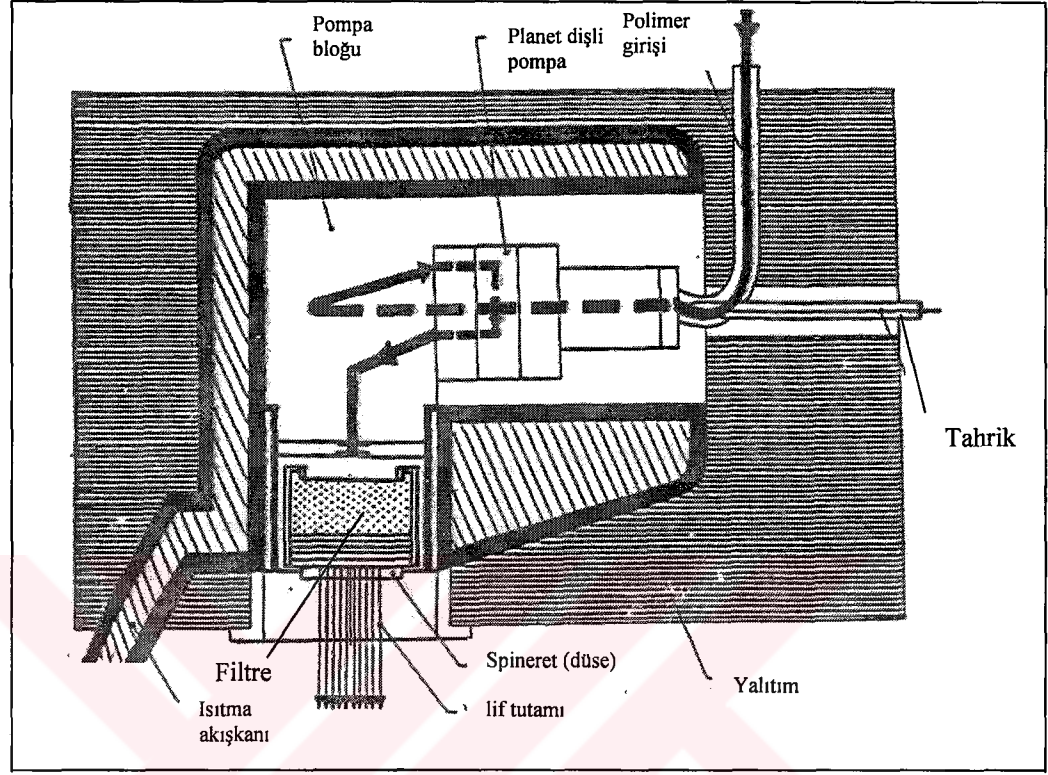
Şekil 4.12. Kuru ve yaş çekimde kullanılan lif çekim pompası (www.ultech.com)

4.3.2. Lif Çekim Ünitesi

Lif çekim ünitesi, dozaj pompasından sonra ve soğutma bölümünden önceki elemanların oluşturduğu sistemdir. Belli bir basınç, viskozite ve sıcaklıkta ekstrüderi terk eden polimer ilk olarak dozaj pompasına (genellikle dişli pompalar kullanılmaktadır) ulaşmaktadır. Burada basıncı artırılan polimer lif çekim ünitesine sevk edilir. Bu ünite ısıtılabilir şekilde imal edilmiş olup Şekil 4.12.'de görüldüğü gibi üç elemandan oluşmaktadır. Bu elemanlar:

- Lif çekme pompası (planet dişli pompa)
- Filtre
- Düse

Şekil 4.13.'de görülen lif çekim ünitesi, sıcak bir akışkan ile ısıtılarak polimerin sıcaklık ve viskozite değerlerinin her düsedeyi aynı olması sağlanır. Dişli pompada basıncı artırılan polimer lif çekme ünitesine gelir. Burada ilk olarak planet dişli pompada işlem gören polimer dişli sayısına göre 2...6 düseye gönderilir. Bu pompa içerisinde daha hassas basınç değeri elde edilir. Polimer buradan filtre ve düseye gelir. Filtre içerisinde polimer içerisindeki yabancı maddeler temizlenir. Düseye ise bir kesite ve inceliğe kavuşan polimer soğutularak filament halini alır.

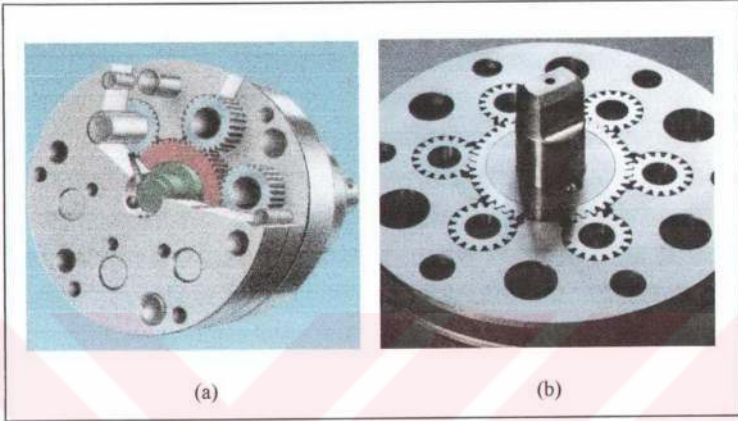


Şekil 4.13. Lif çekim ünitesi şematik gösterimi (Karakaş H., 2000)

4.3.2.1. Planet Dişli Pompa

Şekil 4.14.'te görülen ve daha önce de bahsi geçen planet dişli pompa, lif çekim ünitesinde filtre ve düsedan önce yer alır. 'Güneş' dişlisi de denilen bir ana dişli ve bu dişli çevresindeki küçük 'uydu' (planet) dişlilerden oluşur. Planet dişli sayısı genellikle 3...6 arasında seçilir. Güneş dişlisi bir tahrik sisteminden güç alarak planet dişlilerini tahrik eder (Grosjean, J., 1991). Her bir planet dişlisi bir düseyi besler. Dozaj pompasından sonra, filtreden önce kullanılan planet dişli pompa daha hassas basınç değerleri oluşturur ve her bir düsedeki polimer özelliklerinin aynı olması sağlar.

Planet dişli pompalarda, genelde uydu dişlileri bir ring dişli içerisinde hareket eder. Yani güneş dişlisinin dönüşüyle uydu dişlileri de kendi eksenini ve güneş dişlisi etrafında döner. Tekstilde kullanılan planet dişli pompada ise uydu dişlileri sadece kendi ekseninde döner.

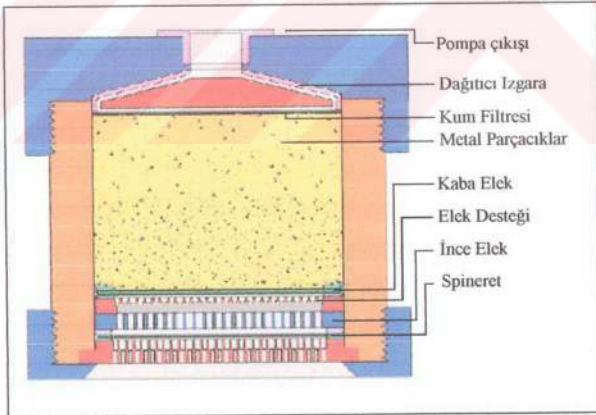


Şekil 4.14. Planet dişli pompa (Zenith Pumps)

4.3.2.2. Filtre

Düselerin hemen üstünde filtreler bulunmakta olup, planet dişli pompadan veya direkt dozaj pompasından gelen eriyik düseye girmeden önce bu filtre donanımından geçmektedir. Filtre ünitesine gelen polimer içerisinde ısıtılarak homojenlik oluşturmaya uygun düşük kalitedeki polimer parçacıkları, inert gaz kabarcıkları ve bazı yabancı maddeler (küçük metal parçacıkları, kir, toz vb.) bulunabilir. Bu maddelerin filament üretim yeri olan spineretten önce polimer içerisinden temizlenmesi gerekir. Aksi halde bu parçacıklar spineret deliklerini tıkalabilir veya filament üzerinde kalarak hatalı üretime sebep olabilir. Spineret deliklerinin kısmen kapanmasıyla bu deliklerden elde edilen filamentler daha küçük çaplı olmaktadır, tamamen kapanması halinde ise düse delikleri tıkanmakta ve üretim yapılamamaktadır. Parçacıkların filament üzerinde kalması ile filament mukavemeti düşmektedir. Bir lif ünitesinin üretim verimi, filtre yüzeyi ve filtrenin yüklenebilmesi ile de yakından ilgili olduğundan özellikle yeni geliştirilen hızlı lif çekimi yöntemlerinde filtrenin yapısının önemi daha da artmıştır (www.drexel.edu).

Şekil 4.15.'de polimer üretiminde kullanılan bir filtre ünitesi görülmektedir. Filtre, kum, metal parçacıklar ve ince elek kısımlarından oluşmaktadır. Filtreleme işlemi için önceleri kum kullanılırken yeni sistemlerde küçük paslanmaz çelik parçacıklarının kullanıldığı görülmektedir. Pompadan belli bir basınçta filtreye iletilen polimer dağıtıcı ızgaralardan geçerek kum filtresine gelir. Burada metal parçacıklardan daha büyük boyutta olan kum taneciklerinin içerisinde aşağı doğru basılan eriyik, gittikçe boyutu küçülen ve sıklaşan metal parçacıkların içerisinde geçerilir. Kum ve metal parçacıklar içerisinde homojenliği artan ve içerisindeki kir ve pisliklerden kısmen temizlenmiş olan polimer daha sonra eleklerden geçerek tamamen homojen ve temiz bir eriyik haline getirilir. Daha sonra spineret ünitesinde temizlenmiş eriyik küçük kapiler deliklerden geçerek soğutma işlemi ile filament halini alır. Filtrede kullanılan kum çapının 20-80 μ arasında değişen boyutta olmasının en iyi performansı sağladığı tespit edilmiş olup eleklerin sıklığı cm²'de 2.000-16.000 arasındadır (Yıldırım, H., 2000).



Şekil 4.15. Filtre ve spineret (düse) ünitesi (www.swfilters.com)

4.3.2.3. Düse

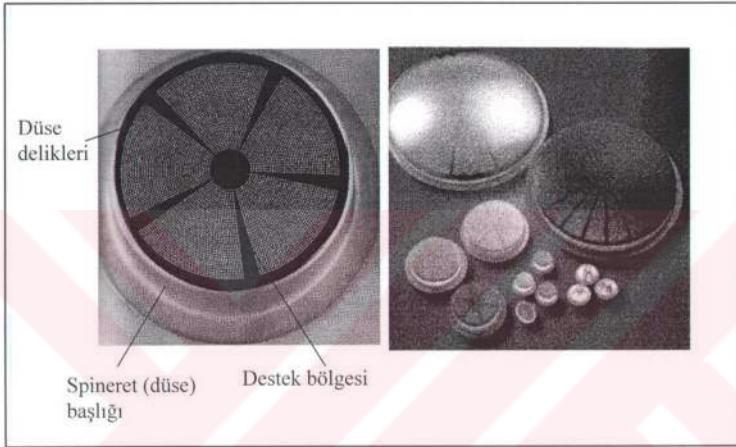
Eriyiğin filament şeklinde akmasını sağlayan düselerin (spineret) esasını çok küçük çaplı delikler (memecikler) oluşturmaktadır. Düsede bir delik var ise tek bir filament (**monofilament**) iplik elde edilmektedir. Çoklu (**Multifilament**) lif üretimi için ise, çok sayıda deliğe sahip bir düsenin kullanılması gerekmektedir. Kesikli lif üretiminde, üretim veriminin yüksek olmasını sağlamak için fazla delik sayısına sahip düseler kullanılmaktadır. Düsenin ince yarık şeklinde olması ile de bant (şerit) üretimi yapılabilmektedir. Şekil 4.16.'da çeşitli düse konstrüksiyonlarından monofilament, multifilament ve bant halinde üretilmiş ürünler görülmektedir.



Şekil 4.16. Düse konstrüksiyonuna göre elde edilen filament ve bant görünüşleri (Guzman, J.E., Upton M.,1998)

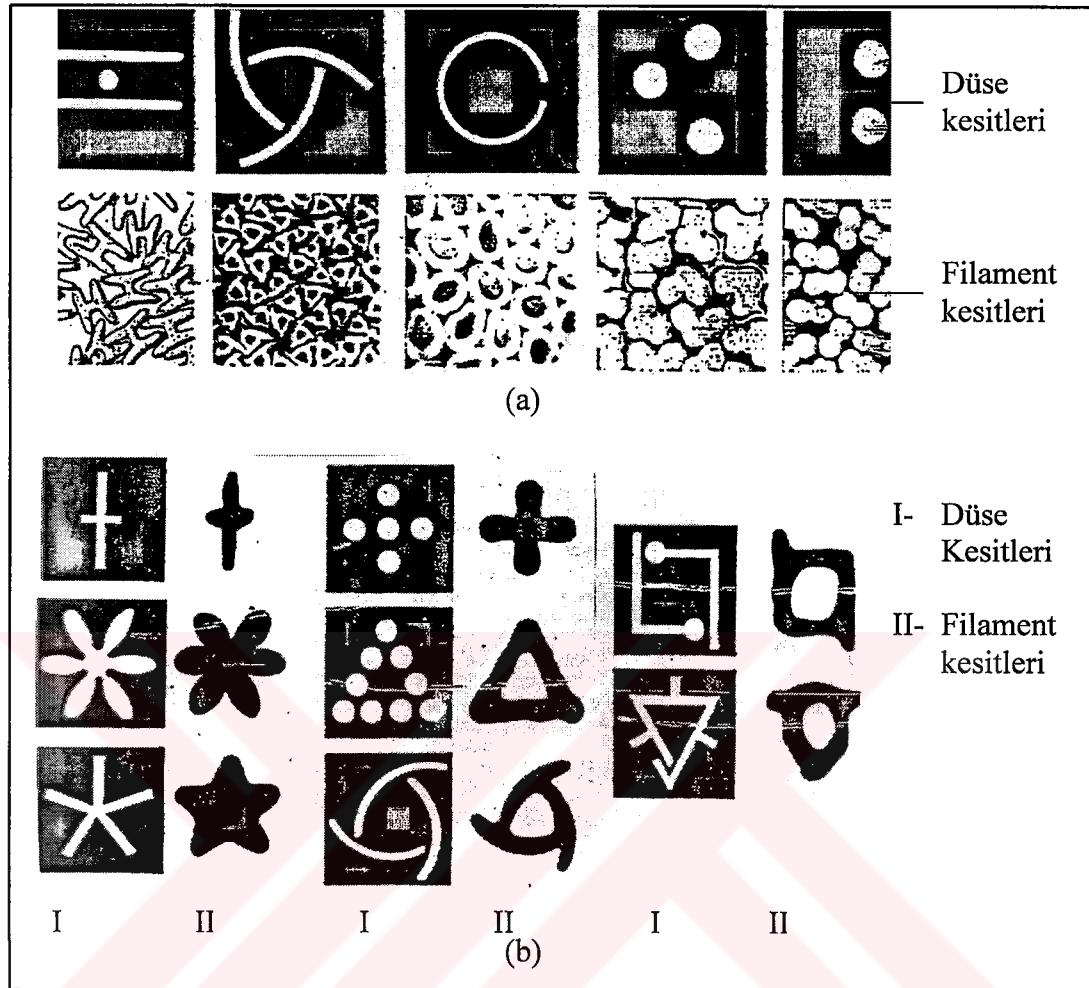
Şekil 4.17.'de çeşitli spineret başlıkları görülmektedir. Spineret başlığının çapı 30...200 mm arasında değişmekte olup 2000...100.000 arasında düse deliği bulunabilmektedir. Spineret başlığına gelen polimer eriyiği 50 bar ve daha yüksek bir basınca sahip olduğundan düse başlığı çelik levhalardan yapılır. Çelik levha kalınlığı genellikle 10...20 mm arasında olmaktadır. Düse delikleri genellikle yuvarlak kesite sahip olmakla beraber, özel profillerde lifleri elde etmek için çok değişik kesitlerde deliklere sahip düseler de imal edilmektedir. Spineret başlığında basınç fazla

olduğundan delikli çelik levhanın (düse başlığı) bu basınca mukavemet etmesi için düse deliklerinin desteklenmesi gerekmektedir, bunun için de Şekil 4.17.'de görülen destek bölgeleri oluşturulmuştur.



Şekil 4.17. Multifilament lif üretimi için kullanılan çeşitli düse başlıkları
(Guzman, J.E., Upton M., 1998)

Şekil 4.18.'de dairesel kesitli bir düse delik geometrisi görülmektedir. Düse deliği, genel itibariyle dört bölgeden oluşmaktadır, bunlar: I-Ön kanal havşası, II-Yönlendirme Bölgesi (ön kanal), III-Düse deliği havşası, IV- Düse deliği'dir. Şekilde, α giriş konisi açısı, D ön kanal çapı, β düse kanalına geçiş açısı, s düse kanalı uzunluğu, d düse kanalı çapı, h ön kanal uzunluğu ve t çelik levhanın kalınlığıdır. Düse kanal çapı (d) 0.002-0.04 cm ve uzunluğu (h) çapın yaklaşık üç katı olmaktadır (Gupta V.B.). Polimer I bölgesinde ön kanala α koniklik açısıyla ve belli bir basınçta giriş yapar daha sonra D çapında ve h uzunluğundaki ön kanalda (II bölgesi) polimere akış doğrultusu kazandırılır. h uzunluğu polimer oryantasyonuna etki eden parametrelerden biridir. III bölgesinde polimer β açısıyla düse deliğine giriş yapar. Düse deliği olan IV bölgesinde ise polimer d çapında ve s uzunluğundaki delikten geçmek suretiyle nihai basınç değeri ile düse bloğunu terk

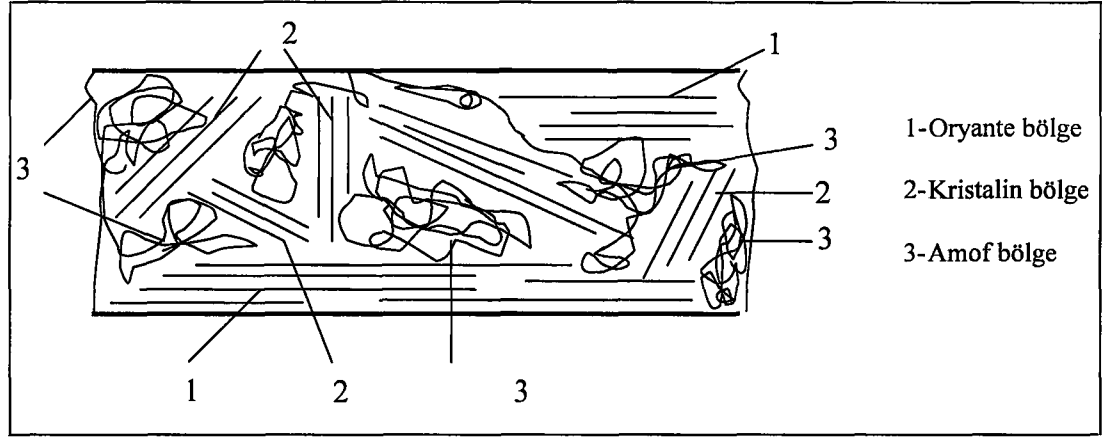


Şekil 4.19 Çeşitli düse profilleri ve elde edilen filamentlerin enine kesitleri
(Karakaş H., 2000)

a) Düşü içinde ve sonrasında polimer akış davranışı

Filament üretiminde üretilen liflerin **kristalinitesi** ve **oryantasyonu** önemli parametrelerdendir. Şekil 4.20.'de bir sentetik lif kesitinde kristalinite ve oryantasyon bölgeleri gösterilmektedir. Kristalinite, filament içerisindeki molekül zincirlerinin birbirlerine paralel olmasıyla elde edilen durumdur ve bu özelliklerdeki molekülün oluşturduğu bölgeye de **kristalin bölge** (2) denilmektedir. Oryantasyon ise filament içindeki molekül zincirlerinin birbirlerine ve lif eksenine olan paralellik durumu olup molekül içerisindeki bu bölgelere de **oryante bölge** (1) denilmektedir. **Amorf bölgeler** (3) filament içerisindeki düzensiz yerleşmiş molekül zincirlerinin

oluşturduğu yapıdır. Başka bir ifadeyle kristalin ve oryante bölgeler dışında kalan bölgeler olarak tanımlanabilir.



Şekil 4.20. Bir filamentin boyuna kesiti ve molekül zinciri durumları

Kristalin, amorf ve oryante edilmiş bölgeler, filamentin mukavemet, kopma uzaması, esneklik, elastiklik, nem ve boya alma gibi fiziksel özelliklerine etki eden çok önemli yapılardır. Kristalin ve amorf bölgelerin oluşumu ise genel olarak çekim hızına bağlıdır. Çizelge 4.7.'de çeşitli lif çekim hızlarında oluşan oryantasyon durumları ve elde edilen mukavemet, kopma uzaması, nem alımı gibi özellikler karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Filamente eksenel yönde bir kuvvet uygulandığında oryante edilmiş bölgelerdeki moleküller gerilime maruz kalacaktır. Bu bölgelerdeki molekül zincirlerinin çok oluşu kopma mukavemetinin artmasına ve kopma uzamasının azalmasına sebep olmaktadır. Kristalin bölgeler, filament kuvvet etkisinde uzamaya başladığında uygulanan yükü kaldırmaya ortak olacaktır. Amorf bölgeler ise yapı itibariyle düzensiz bölgeler olup filamentin boya ve nem alması için gerekli boş hacmi oluşturan bölgelerdir. Filamentte mukavemet, kopma uzaması, nem alımı gibi değerlerin istenilen özelliklerde oluşturulabilmesi için bu bölgelerin filament içerisindeki oranları belirlenerek üretim yapılmalıdır. Bu yapı, düsedan geçiş hızı ve düse içerisinde polimerin göstermiş olduğu akış davranışı ile belirlenir. Düsedan lif çekimi, oluşturulacak olan filamentin iç yapısı için önemli bir aşamadır. Aşağıda çeşitli lif çekim hızları ve bu hızlarda oluşan oryantasyon durumları sırasıyla verilmektedir.

Çizelge 4.7. Çeşitli lif çekim hızlarında filament fiziksel özelliklerinin değişimi

Filament	Çekim hızı (m/dak) ⁽¹⁾	Oryantasyon ve kristalinite	Kopma mukavemeti	Kopma uzaması	Nem alımı
LOY Low Oriented Yarn- Düşük oryante edilmiş iplik	500-1800	Çok az	*	*****	*****
MOY Medium Oriented Yarn- Orta oryante edilmiş iplik	1800-2800	Kristalinite oluşur	**	****	****
POY Partially Oriented Yarn- Kısmen oryante edilmiş iplik	2800-4000	Oryantasyon oluşur	***	***	***
HOY Highly Oriented Yarn- Yüksek derecede oryante edilmiş iplik	4000-6000	Daha fazla oryantasyon oluşur	****	**	**
FOY Fully Oriented Yarn- Tamamen oryante edilmiş iplik	6000 ve üzeri	Filament tamamen oryante edilmiştir	*****	*	*

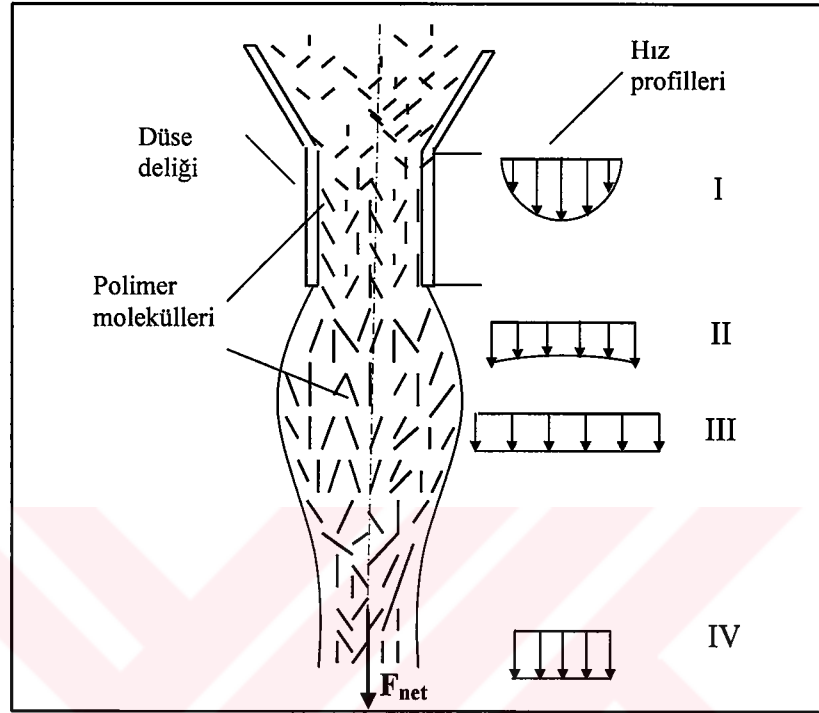
*: Fiziksel özelliğin düşük seviyeden yüksek seviyeye artışı simgelemektedir.

⁽¹⁾(<http://matexweb.chez.tiscali.fr>)

Polimer, düse ile sarım işlemleri arasında sıvı halden katı hale geçer ve filament halini alarak bobinlenir. Düse içindeki akış, soğutma işlemleri ve çekim filamentin fiziksel özelliklerini etkilemektedir. Eriyik düseye aktarıldıktan sonra düse kanalında polimerin akış davranışı oryantasyon ve kristaliniteyi belirlemektedir. Eriyiğin düse kanalından sonra soğutma ve çekime karşı göstermiş olduğu davranış filament özelliklerini etkilemektedir. Daha sonra polimer katılaşmakta ve filament halini almaktadır. Filament halini alan polimer bobinlere sarılarak çeşitli amaçlar için hammadde olmaktadır.

Şekil 4.21.'de bir düse deliğinden geçen ve soğutma bölümüne sevk edilen polimerin lif halini alışı, polimer içerisindeki moleküllerin düse içerisindeki ve çıkışındaki durumları ve polimer hız profilleri görülmektedir. Çekim ile moleküller birbirlerine ve lif eksenine göre paralel hale getirilmektedir, yani düse içinde ve çıkışında oryantasyon yapılmaktadır. Polimer (I) bölgesinde düse içerisinden geçmektedir. Burada polimerin akış davranışı yaklaşık olarak boru içindeki viskoz akış gibidir. Düse çeperinde hız sıfırdır ve merkezde maksimum seviyededir. Düseden çıkışta (II) polimer serbest kalır ve ataletten dolayı bir bombe oluşmaya başlar. III no'lu bölgede ise bombe maksimum değerine ulaşır. Çekim kuvvetinden

dolayı IV bölgesinde, polimer hızı artmaya ve bombelik azalmaya başlar ve filament çapı düse çapına yakın bir değer olarak soğutulur.



Şekil 4.21. Lif çekme eriyiğinin düse kanalından geçerken ve geçtikten sonraki akış durumu

Düsedan çıkan ve soğutularak bobinlerde sarılan polimerin hareketi çeşitli kuvvetler tarafından belirlenmektedir. Bu kuvvetler, çekim kuvveti ($F_{çek}$), yer çekimi kuvveti (F_g), polimerin akma ve deformasyonunun basınç ve zamana göre değişim kuvveti olan **reolojik kuvvet** (F_{reo}), polimer ağırlığından kaynaklanan atalet kuvveti (F_i), ve havanın direnç kuvveti (F_{hava}) olmaktadır. Burada polimeri aşağı çeken kuvvetler $F_{çek}$ ve F_g olurken harekete direnç gösteren kuvvetler F_{reo} , F_i ve F_{hava} 'dır. Şekilde bu kuvvetlerin bileşkesi olan (F_{net}) gösterilmektedir. Filament çekim hızını bu kuvvet belirlemektedir. Düse için bu kuvvetlerin analizi 6. Bölümde genişçe ele alınmıştır.

b) Düse altında filament oluşumu

Düsedan çıkan ve belli bir sıcaklık, basınç ve hız değerine sahip olan polimerin filament halini alması, soğutma işlemi ile mümkün olmaktadır. Şekil 4.22.'de bir düse ve bu düse altında polimerin soğutma kanalı içinde

katılaşarak filament halini alışı görülmektedir. Düse içerisinde ve düsedan çıktıktan hemen sonra bir akışkanlığa sahip olan polimer soğutma işlemi ile katılaştırılarak tekstilde kullanılabilecek duruma getirilmektedir. Katılaşan filamentler hazırlık işleminden geçtikten sonra filament üretimi için bobinlere direkt olarak sarılmakta, kesikli lif üretiminde ise kesim işlemine maruz bırakılmaktadır.

Filament iplik üretiminde çekilen filament bobinlere sarılmaktadır. Bu şekilde elde edilen bobinler de özel taşıma arabalarıyla gerdirmeli bobin veya gerdirmeli katlı büküm makinalarına götürülüp burada gerdirme işlemi yapıldıktan ve büküm kazandırıldıktan sonra 2-3 kg'lık bobinlere sarılmaktadır.



Şekil 4.22. Düse ve düse altında lif oluşumu (Welfers E., 1978)

Çekim hızı filamentin fiziksel özelliklerini etkileyen önemli özelliklerden biridir. Mukavemet, kopma uzaması, elastikiyet, nem ve boya alımı gibi fiziksel değerlerin büyüklüğü belli bir oranda çekim hızı ile belirlenir. Filament içerisindeki makromoleküllerin birbirlerine ve filament eksenine göre paralellik durumu olan **oryantasyon**, büyük oranda lif çekim hızı ile sağlanır.

Düse altında lif oluşumunun sağlanması çeşitli faktörlere bağlıdır. Polimerin karakteristik özellikleri ve lif çekim parametreleri düsenin altında lif oluşumunu belirleyen değişkenler olarak tanımlanabilir. Polimerle ilgili olan faktörler; erime noktası, molekül ağırlığı, eriyiğin lif çekimi esnasındaki viskozitesi, katılaşan

eriyiğin kristalizasyon eğilimi, eriyiğin ısı kapasitesi olarak sıralanabilir. Lif çekimi ile ilgili teknolojik faktörler ise; düse deliklerinin sayısı, şekli ve boyutları, düse deliklerine birim zamanda gelen eriyik miktarı, lif çekme kanalının yapısı, sıcaklığı, hava akımının durumu, lif çekim (sarım) hızı olarak sıralanabilir.

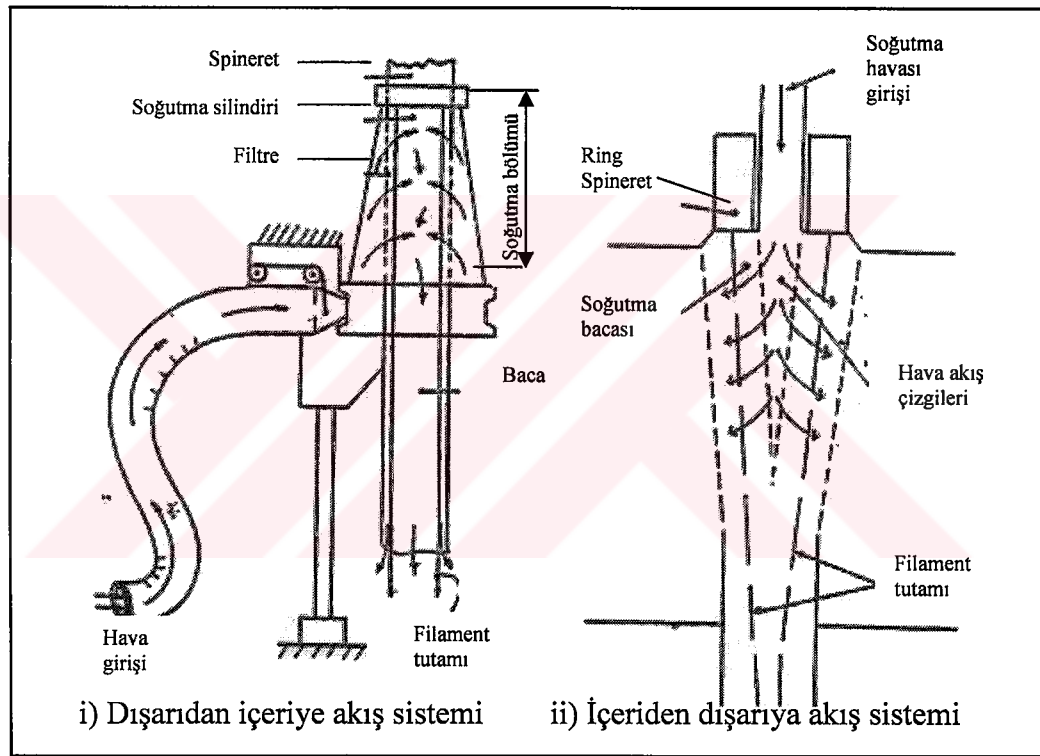
Düse kanalından geçerken istenilen şekli almış olan eriyiğin katılaşıp filament oluşturması, düşenin altında bulunan lif çekme kanalında meydana gelmektedir. Bu kanaldan geçerken eriyiğin soğuyarak hal değiştirmesinin yanında lif çekim şartlarına bağlı olarak liflerdeki makromoleküllerin kristalizasyonu ve belirli bir oryantasyon kazanmaları da söz konusu olmaktadır.

4.3.3. Soğutma Kanalı

Soğutma kanalı düse ile bobin arasındaki bölgedir. Düşeden fışkıran basınçlı sıcak lif eriyiğinin soğutulması ve çekimi, elde edilen filamentlerin boyutsal ve ısı homojenliğine, iç-dış farklılığına, oryantasyon ve kristalizasyon derecesine büyük ölçüde etki eder. Bu nedenle, düşeden çıkan lif eriyiği akışının özel yapıdaki soğutma kanallarından geçirilerek soğutulmasının kontrollü şartlar altında olması zorunludur. Bunun yanında, yan yana ve hızla akan lif eriyiğinin kontrolsüz hava akımlarından korunması da filamentler arası homojenlik ve filamentlerin birbirine yapışmaması bakımından büyük önem taşımaktadır.

Şekil 4.23.'de görülen soğutma kanallarında, radyal olarak dışarıdan (i) ve içeriden (ii) hava akımı ile soğutma yapan sistemler gösterilmiştir. Dışarıdan içeriye akışlı soğutma düzeninde (i), bir soğutma silindiri, spineret, baca, filtre ve soğutma boruları bulunmaktadır. Soğutma havası bir boru vasıtasıyla sisteme sevk edilir. Soğutma havası sisteme her zaman aynı akış değerlerinde girmelidir. Bunun için çeşitli kontrol mekanizmaları oluşturulmuştur. Soğutma silindiri içerisinde spineretten gelen polimer eriyiği soğutularak filament oluşturulur. Burada spineret deliklerinin oluşturduğu yapı bir halka şeklindedir. Düşeden çıkan ve halka şeklini almış filament tutamı bir soğutma kanalından geçirilir. Soğutma bacası soğutma kanalı içinde yer alan, silindirik ve soğutma yapan havayı dışarı sevk eden elemandır ve iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda soğutma yapılır ve burada baca üzerinde filtre elemanı vardır. Hava, filtre içerisinden geçerek filament tutamını

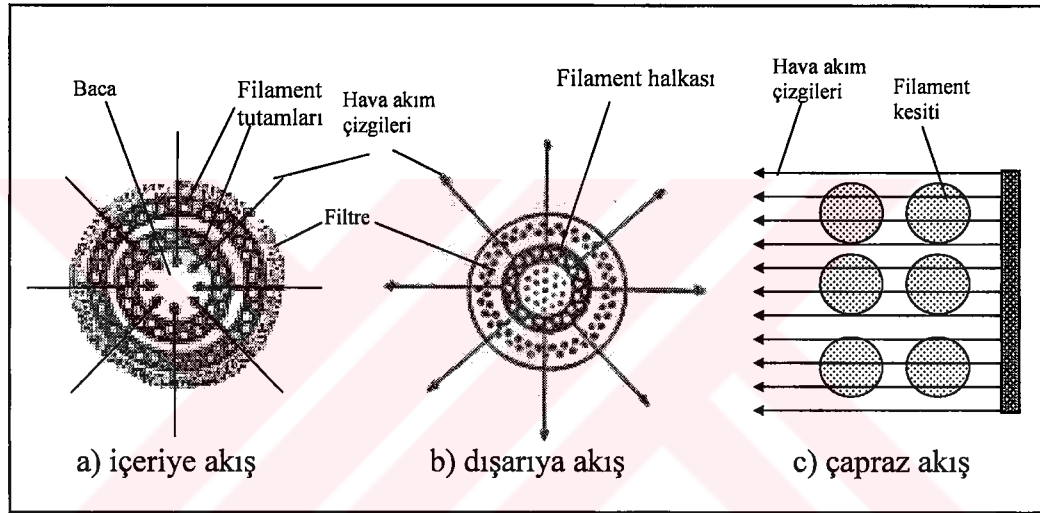
soğutur ve bacanın içine sevk edilerek sistemi terk eder. Filtre, yabancı maddelerin tutulmasını ve filament tutamına yapılacak soğutmanın homojen olmasını sağlar. Filtrenin yer almadığı ikinci kısımda ise soğuyan filament çevredeki hava akımlarından korunur. Böylece sarım işlemine kadar filament tutamı dış etkenlerden korunarak sarım yapılır. İçeriden dışarıya hava akımı ile yapılan soğutma tekniğinde (ii) ise dışarıdan içeriye tekniğinden farklı olarak soğutma havası filament tutamının iç kısmından verilerek soğutma yapılır.



Şekil 4.23. Soğutma Kanalları (Karakaş H., 2000)

Soğutma işleminde uygulanan çeşitli hava akımları Şekil 4.24.'te görülmektedir. Dışarıdan içeriye (a) ve içeriden dışarıya (b) hava akışlı soğutma sistemlerinde spinneret şekli halka formundadır. Çapraz soğutmada (c) ise spinneretten çıkan filament tutamının bir tarafından soğutma yapılmaktadır. Dışarıdan içeriye yapılan soğutmada (a), dış kısımda filtre ve en iç kısımda soğutma yapan havanın sevk edildiği soğutma bacası görülmektedir. Filtre ve baca arasında ise iki spinneret halkasından elde edilmiş filament tutamları bulunmaktadır. Soğutma havası filtreden geçerek hava akımı homojen hale getirilir ve içindeki yabancı maddeler burada

tutulur. Filtrelenen hava akımı radyal yönde içeriye doğru hareket ederek filament tutamlarını soğutur ve buradan baca içine sevk edilir. Soğutulan filament bobinlere sarılır. Burada en iyi ve makul soğutma dışarıdan içeriye akış (b) olarak değerlendirilmektedir. Çünkü burada, hava akımı içeriden dışarıya olduğundan ısı transferi daha geniş bir çevreye yapılmakta ve soğutma tüm lifler için aynı seviyede ve düzgün olmaktadır. (a) şeklinde life dışarıdan akım verilmekte ve iç kısımdaki lifler için soğutma uygun gerçekleşmemektedir. (c) şeklinde ise liflerin sadece bir tarafından akım verilmektedir, soğutmanın uygun olmayacağı açıktır.



Şekil 4.24. Soğutmada çeşitli hava akımları (Karakaş, H., 2000)

Lif çekme kanalları polimerin cinsine bağlı olarak 4...10 m. yükseklikte ve genellikle silindirik ve düşey kanallardır. Bunların çapları spineret başlığının çapına yakın değerlerde olmaktadır (100...300 mm). Yaygın olan çalışma şekli kanalın yalnızca 1.5...2.5 m.lik kısmında hava veya başka bir gazın (azot) püskürtülmesi, ondan sonra gelen 3...6 m'lik kısmın ise sadece lifleri çevreden koruma görevini yerine getirmesidir. Hava püskürtmesi liflere radyal veya çapraz olarak yapılabilir. Hava akımının türbülans yapmasını önlemek ve kanal boyunca aynı hızda olmasının sağlamak için, kanala püskürtülen hava petekli doğrultuculardan (fitre) ve delikli levhalardan geçerek kanala gelmekte ve çıkışta da yine karşı taraftaki peteklerden geçmektedir. Soğutma kanalları konusunda son yılların en önemli gelişmesi, 6-10 metre olan kanal uzunluklarının 2 metre civarına düşürüldüğü kompakt lif çekme sistemleridir.

4.4. Hazırlık İşlemleri (Preperasyon)

Hazırlık işlemlerinde amaç yapay liflerin üretimi ve bu liflerden iplik ve tekstil yüzeyi elde edilmesi sırasındaki işlemleri kolaylaştırmak ve desteklemektir. Bunu sağlayabilmek için genelde, hazırlık maddelerinin liflere belirli bir kayganlık ve gerekiyorsa yumuşaklık, statik elektriklenmeyi önleme ve liflerin bir arada bulunmasını kolaylaştırma özelliklerini kazandırması gerektiği söylenebilir.

4.5. Ard İşlemler

İster filament iplik, ister kesikli lif üretimi için olsun, lifler bir ‘germe’ işleminden ve buna bağlı olarak bir de termofiksaj işlemlerinden geçirilir. Termofiksaj, filamentin yüksek sıcaklıkta işlem görerek istenilen forma getirilmesi ve daha sonraki işlemlerde bu formunu korumasını amaçlayan bir işlemdir. Bunun için kullanılan makineler, kesikli lif üretimi için ve filament iplik için büyük farklılıklar göstermektedir.

Düz filament ipliklerin gerdirilmesi genellikle germeli-katlı büküm makinelerinde veya germeli bobin makinelerinde yapılırken, tekstüre filament ipliklerin gerdirilmesi germeli-tekstüre makinelerinde yapılmaktadır. Filament ipliklerin fiksajı ise, otoklavda basınçlı doymuş buharla yapılabilmektedir.

Kesikli lif üretiminde ise ard işlem olarak germe ve termofiksajın yanında preperasyon, kıvrıcıklaştırma, kesme, balyalama, gibi işlemler de söz konusu olmaktadır. Bu nedenle kesikli liflerde ard işlemler daha yönlü olup genellikle birbiri ardınca ve kesintisiz olarak yapılmaktadır.

5. EKSTRÜDER

5.1. Giriş

1940-1950 yılları arasında sentetik esaslı polimerlerin olağanüstü hızlı bir şekilde bulunmaya başlanması ve üretilmesi bunların işlenmesi için de bir sektör oluşturmuştur. Polimerlerin elde edilmesi ve bunların işlenmesi, birbiriyle ilişkili olduğundan polimer işleme endüstrisi de hızlı bir gelişme göstermiştir. Polimer işleme endüstrisi, kimyasal işlemle elde edilen polimerin ısı ve mekanik işlemlere tabi tutulmasıyla istenen son ürün haline getiren endüstri dalıdır. Polimer işleme endüstrisinin gelişme göstermesinde ekstrüzyon işleminin büyük rolü olmuştur. Ekstrüzyon prosesinin en göze çarpan özelliği silindirik bir barrel ve içinde dönen vidadır ve bu proses günümüzün en önemli polimer işleme tekniğidir. Polimerlerin yaklaşık %60'ı bu yöntemle işlenerek son ürün halini alır (Levy, S., 1981, Tadmor Z., Klein I., 1970).

Latince olan “extrude” kelimesi “ex” (out, dışarı) ve “trude” (to thrust, itmek) kelimelerinin birleşmesiyle oluşur. Ekstrüder ise anlaşılacağı üzere bir malzemeyi cebri olarak iterek dışarı sevkeden bir makina olarak düşünülebilir. Vidalı ekstrüder, katı polimeri etkin ve kesintisiz bir şekilde eriyik haline getirir ve yüksek viskozitedeki eriyiği pompalayarak basınç altında çıkışa gönderir (Tadmor Z., Klein I., 1970).

Ekstrüzyon prosesi sonunda polimerin kimyasal özelliklerinde önemli bir değişiklik görülmemektedir. Ekstrüdere beslenen katı polimer, ekstrüderden eriyip çıkıyorsa bu işleme **plastikleştirici** ekstrüzyon adı verilir. Nadiren, erimiş haldeki polimer de ekstrüdere beslenebilir, **eriyik beslemeli** ekstrüzyon adı verilen bu proseste, ekstrüderin görevi bir pompa gibi görev yaparak taşıma için gerekli basıncı sağlamaktır (Altun Ş., 1999).

Termoplastik polimerler (ısı ile şekil alabilen polimerler), ekstrüzyon sistemleri vasıtasıyla film, iplik, plaka vb. ürünler haline dönüştürülebilirken, bu proses ile enjeksiyonlu kalıplama, tüp ve borular gibi içi oyuk parçalar, elektrik yalıtımı ve koruma amaçlı olarak kabloların kaplanması, levha film, müzik, video kaset bantları ve paketleme amaçlı bantların yapımı, iplik için lif üretimi, üfleterek

şişirme yöntemi ile şişe elde edilmesi, köpük yapımı gerçekleştirilebilir. Ayrıca alüminyum üretimi ve inşaat sektöründe de ekstrüderler kullanılmaktadır. Farklı veya aynı türdeki eriyiklerin harmanlanması, gaz uzaklaştırma, filtreleme, eriyikten suyun uzaklaştırılması da ekstrüderin fonksiyonları arasındadır (Stevens, M.J, Covas J.A., 1985).

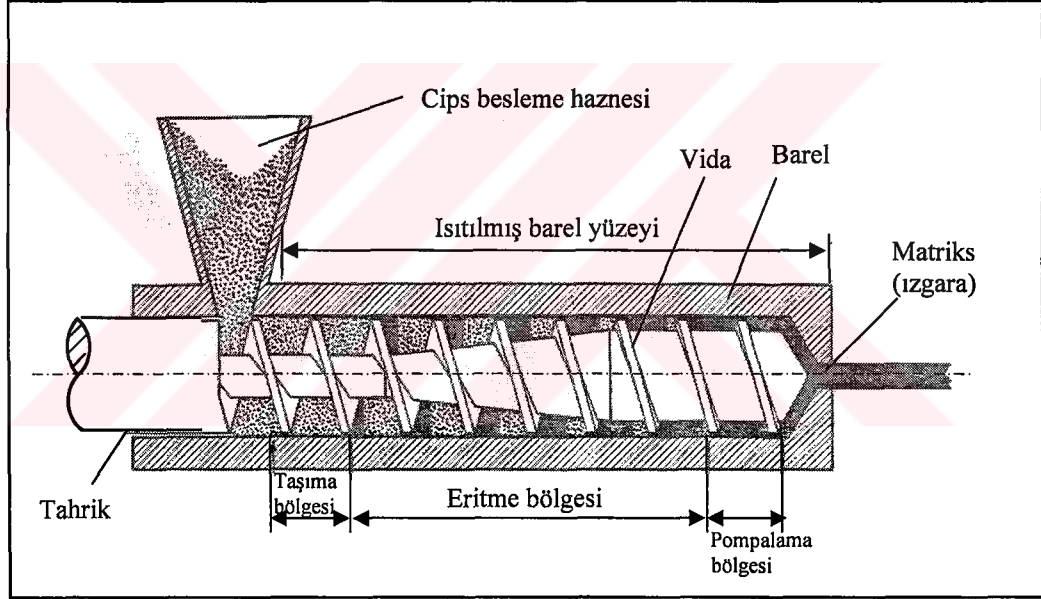
5.2. Ekstrüzyon

Polimerlerin işlenmesi eriyik ve plastik ekstrüzyonu ile yapılmaktadır. Polimer, ekstrüdere eriyik halinde beslenmişse **eriyik ekstrüzyonu** söz konusudur. Bu şekildeki ekstrüderler bir tek bölgeye sahiptir. Bu da eriyik taşıma bölgesidir. Eriyik ekstrüderi, polimerin üretiminden hemen sonra ekstrüzyon yapıldığı kesiksiz üretim yapan entegre tesislerde kullanılır. **Plastik ekstrüzyonu** ise katı polimeri eritmek suretiyle yapılan ekstrüzyon işlemidir. Polimer elde edildikten sonra katı hale getirilip depolanır veya filament üretimi için başka tesislerde işlenir. Bu ekstrüzyon işlemine plastikleştirici ekstrüzyon denilmektedir. Polimerlerin hemen hepsi her iki ekstrüzyonda da işlem görebilmektedir. Eriyik ekstrüzyonunun plastik ekstrüzyonundan farkı eritme işleminin ekstrüderde yapılmayıdır. Günümüzde ekstrüderler genellikle 1-12 inç barel çapında (36 inçlik büyük tipleri de vardır) üretilmektedir. Bu makinalar kablo, tel, boru, film, filament vb. çeşitli ürünlerin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Daha önce de bahsedildiği üzere bir ekstrüder üç kısımdan oluşmaktadır ve bu bölgelerin geometrisi üretim koşullarına, polimerin fiziksel özelliklerine ve vida konstrüksiyonuna bağlıdır. Vidanın ekstrüder boyunca artan konikliği, oluşan polimer eriyiğinin sıkıştırılmasına ve basınç oluşumuna yardım etmektedir (Şekil 5.1.'de eritme bölgesi). Tamamen eriyen polimer ekstrüder çıkışında basınç arttırıcı bölge olan pompalama bölgesinden geçerek basınç kazanır. Basıncı polimer **matriks** denilen çıkış ızgarasından geçerek helisel (öteleme+dönme) hareket yapan polimerin doğrusal hareket yapması sağlanır. Matriks bu fonksiyonuyla bir titreşim sönümleyici eleman gibi görev yapar. Ayrıca bu eleman eriyik içerisindeki yabancı maddeleri tutarak filtreleme işlemi görür ve eriyiği daha da homojen hale getirir. Çıkıştan sonra ise üretim amacına uygun olarak polimerin şekil kazanması için çeşitli

işlemler yapılabilmektedir (tel kaplama, boru, filament üretimi vb.). Polimer ekstrüder içerisinde yüksek basınç ve sıcaklıkta pompalanarak ekstrüder çıkışına gönderildiği için ekstrüderi bir **ön pompa** gibi düşünmek uygun olmaktadır.

İşlenecek katı polimerler cips, toz veya küçük tanecikler halinde üretilirler. Polimerin verimli bir şekilde işlenmesine yardımcı olan; antioksidant, plastikleştirici madde, pigment, yağlayıcı madde gibi yardımcı maddeler de Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi cips besleme haznesinden ekstrüdere verilebilir. Ekstrüderde işlenecek olan polimerin fiziksel özelliklerini etkileyen ve değiştirebilen bu yardımcı maddeler hidrodinamik ve termodinamik özellikleri etkilediğinden ekstrüderin teorik olarak analizinde polimere olan etkileri ihmal edilmektedir (Tadmor Z., Klein I., 1970).



Şekil 5.1. Tipik bir ekstrüder ve kısımları (Tadmor Z., Klein I., 1970)

Polimer kalitesini etkileyen önemli faktörlerden birisi ekstrüderi terk eden polimerin homojenliği ve sıcaklığın üniform olmasıdır. Eriyik ekstrüzyonunda bu sorun çok önemli derecede aşılarak polimerin ısıl dengesizliği (degradasyonu) önlenmiştir (Tadmor Z., Klein I., 1970).

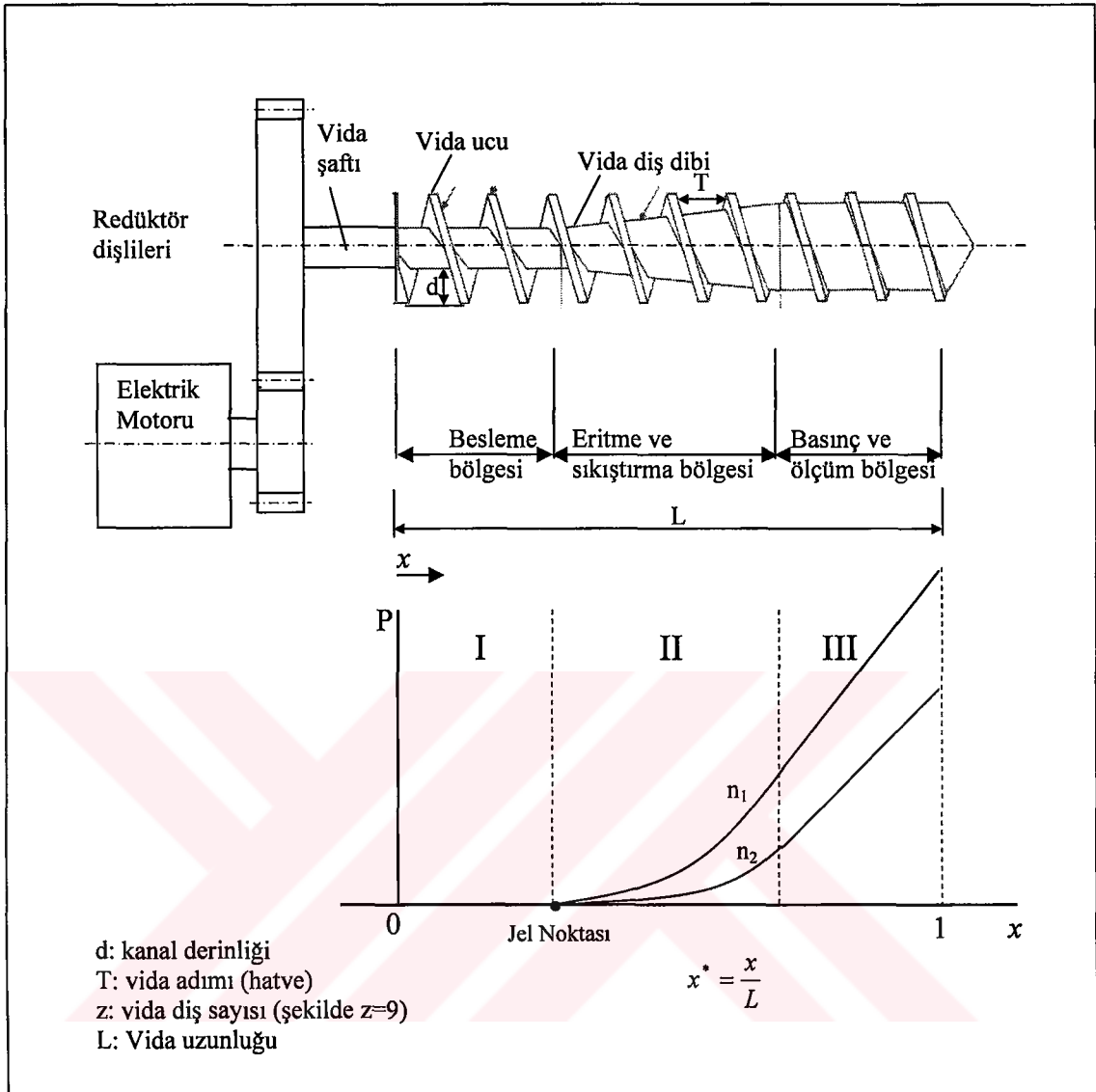
Katı ve erimiş polimer, barel ve vidanın relatif (izafi) hareketinden dolayı ileri doğru itilerek pompalanır. Bu mekanizmayı cıvata-somun mekanizmasına benzetmek mümkündür. Somunu çevirerek hareket sağlanabileceği gibi cıvatayı çevirerek de hareket sağlanabilir. Şekil 5.1.'de ekstrüder içerisindeki tipik bir vida (helisel) görülmektedir. Vida, bir tahrik motoru ile mekanik olarak döndürülür. Barel

ile vida çok az bir radyal açıklıkta hareket yaparlar ve polimer, vida ile barel arasında yağlayıcı madde gibi davranır. (Tadmor Z., Klein I., 1970).

5.2.1. Ekstrüder Vidası ve Barel

Ekstrüderin performansı büyük ölçüde vida dizaynına ve çalışma koşullarına bağlıdır. Vidanın temel geometrik değişkenleri: vida sayısı ve geometrisi, kanal derinliği ve ekstrüder boyunca derinlik değişimi, vida ile barel arasındaki radyal açıklık olarak gösterilebilir. Vida ve barelin malzemesi çeliktir ve aşınmaya karşı sertleştirilebilir. Şekil 5.2.'de örnek bir ekstrüder vidası, kısımları ve bu kısımlarda oluşan basınç eğrileri gösterilmiştir. Tek vidalı ekstrüderlerde, polimer malzemesine ve istenen çıkış özelliklerine göre eritme ve basınç bölgeleri daha uzun olabilirken iki veya daha fazla vidanın bir arada kullanıldığı ekstrüderlerde bölüm sayıları birden fazla (örneğin iki eritme bölgesi, iki basınç bölgesi) olacak şekilde dizayn edilebilmektedir.

Vidanın en belirgin özelliği, ekstrüder içerisinde barel ile arasındaki açıklık bakımından, daralan bir “kama” gibi davranmasıdır. Vida boyunca değişen kanal derinliğinin ekstrüderin performansına önemli etkisi olduğu bilinmektedir. Ekstrüdere beslenen katı polimer çeşitli boşluklara (cipsler arası boşluklar, cips içerisindeki hava vs.) sahiptir. Eritme işlemi ile bu boşlukların hacmi azaldığından polimer daha sıkı (kompakt) bir yapıya sahip olmakta ve bu yüzden yoğunluğu artmaktadır. Polimerin sıkıştırılan yoğunluğunun (bulk density) artması basıncın artmasına sebep olur. Aynı kütleye sahip olan polimerin yoğunluğunun artması, hacmini azalmaktadır. Hacmi azalan polimere basınç kazandırmak ve kanal içerisinde boşluk kalmadan taşıma yapılabilmesi için taşıma kanallarının hacmi ekstrüder boyunca gitgide azaltılmalıdır. Vidanın **daralan kama** gibi davranması, barel ile vida arasındaki hacmin ekstrüder boyunca gitgide azalmasından dolayı basınç artışına sebep olmasındandır.



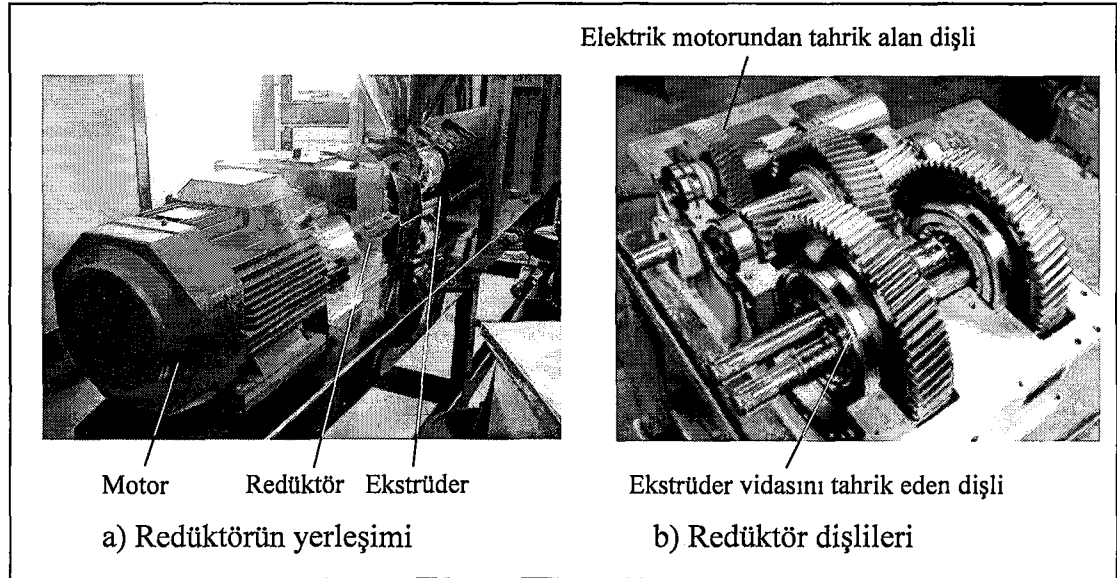
Şekil 5.2. Tipik bir ekstrüder vidasının tahriri ve vida kısımlarındaki basınç eğrileri

Şekil 5.2.'de tipik bir ekstrüder vidasının tahrik sistemi, fonksiyonel bölgeleri, bu bölgelerde oluşan eriyik basınç eğrileri ile birlikte verilmektedir. Vida bir elektrik motorundan hareket alan redüktör ile tahrik edilmektedir. Vidanın proses için istenen dönüş hızı elektrik motorunun hızından çok daha küçük olduğundan redüktöre ihtiyaç duyulmaktadır. Şekilde yer alan grafikte; P: vida boyunca oluşan basınç, $x^* = x/L$: boyutsuz vida uzunluğunu göstermekte olup grafikte 0...1 arasında değer almaktadır. n_1 : yüksek vida devri, n_2 : düşük vida devri olarak gösterilmektedir. I no'lu bölgede eritme gerçekleşmediğinden basınç oluşmamaktadır. II no'lu bölge eritme bölgesi olup polimerin erimesi ve vida konikliğinin artmasıyla, basınç eksponansiyel olarak artmakta ve büyük devir sayıları

için büyük basınç değerleri elde edilmektedir. III no'lu bölge ise basınç bölgesi olup tamamen erimiş polimer, küçük ve sabit kanal hacminde sıkıştırılarak basınç daha da arttırılmaktadır. Buradaki basınç artışı, kanal hacmi sabit olduğundan lineerdir. Doğrunun eğimi devir sayısının artmasıyla daha da artmaktadır.

Yukarıdaki şekilde, vidanın besleme bölgesinde vida dış dibi-barel arası boşluğun (kanal hacmi) büyük olduğu ve kanal derinliğinin bölge boyunca değişmediği (sabit kaldığı) görülmektedir. Basınç eğrisinden anlaşılabileceği gibi besleme bölgesinde (I) basınç oluşturacak bir eritmenin oluşmadığı gözlenmektedir. Basıncın oluşması için polimerin sıvı halde olması gerekir, katı halde bir basınçtan söz edilemez. Eritme bölgesinde ise (II) polimer jel noktası denilen yerde erimeye ve basınç oluşturmaya başlamaktadır. Bu bölgede kanal derinliği hacmi giderek azalmakta ve polimer daha sıkı (kompakt) bir hal kazanmaktadır. Vida konikliğinin artmasıyla vida daralan kama gibi davranır ve polimer basıncı arttırılır. Basınç ve ölçüm bölgesinde ise (III) vida kökü-barel arasında taşınan polimer hacmi (kanal) minimum ve sabit olmaktadır. Eriyen polimerin basıncı burada daha da arttırılır ve çıkışa sevk edilir.

Ekstrüzyon işlemi sırasında kontrol edilmesi gereken bazı temel değişkenler vida hızı, barrel sıcaklığı ve çıkış basıncı olarak gösterilebilir. Vida hızı ekstrüderin büyüklüğüne ve üretim kapasitesine bağlıdır. Filament üretimi için düşük hızlardaki ve orta büyüklükteki (örneğin: 1...10 inç vida çapı ve 200...400 dev/dak) ekstrüderler tercih edilirken, boru üretimi için büyük ekstrüderler kullanılabilir (12...36 inç vida çapı ve 100...300 dev/dak). Ekstrüder vidalarının bir çoğu 20-200 dev/dak dönüş hızında çalışır ve ekstrüder büyüklüğüne göre 2000 kg/saat'lik bir üretim hızına ulaşılabilir. 20-200 dev/dak çok düşük hızlardır ve ekstrüderin tahrik aldığı bir elektrik motorunun devir sayısı genellikle 1500 dev/dak'dan büyük olmaktadır. Elektrik motoru kullanılarak düşük hızların sağlanabilmesi için elektrik motoru ve vida tahrik şaftı arasında **redüktör** kullanılmaktadır. Şekil 5.3.'te bir redüktör (a) ve redüktöre ait dişliler (b) görülmektedir.



Şekil 5.3. Bir redüktör ve dişlileri (www.bfengineering.it)

Üretim hızının limitini belirleyen asıl faktör polimerin kaliteli bir şekilde işlenebilmesidir. İstenen sıcaklık ve basınç değerlerinin çıkışta elde edilmesi ve polimerin ısıl olarak homojen olması, polimerin kaliteli işlendiğini gösteren parametrelerdir. Yüksek hızlarda çalışan ekstrüderlerde veya büyük vida çaplı ekstrüderlerde polimerin ekstrüder içerisinde tam olarak eritilmesi ve homojen bir yapı elde edilmesi zor olmaktadır. Büyük vida çaplı ekstrüderlerde, eritme yapılan hacmin büyük olmasından dolayı yeterli eritmenin sağlanabilmesi için daha yavaş bir çalışma hızı ve daha uzun bir vida gerekmektedir. Hızlı çalıştırılan ekstrüderlerde ise yeterli eritme için daha uzun vida gerekmektedir. Yapılan deneylerde 1000-2000 dev/dak hızda çalıştırılan ekstrüderlerde üretilen polimerler düşük hızda çalıştırılanlara göre daha az kaliteli olmaktadır. Çalışma parametreleri, dizayn parametreleri ve üretim ihtiyaçları (son ürün ve kullanım amacı) dikkate alındığında; kaliteli polimer üretimi için, küçük veya orta boy ekstrüderlerde (1-10 inç vida çapı) ve düşük-orta hızlarda (100-500 dev/dak) üretim yapılmalıdır. (Tadmor Z., Klein I., 1970).

Barel, silindirik bir eleman ve bu silindir üzerindeki ısıtıcılardan oluşur. Barelin ısıtılması elektrik rezistansı, sıcak gaz, ve diğer ısıtıcı akışkanlar ile sağlanabilir. Uygun ve yaygın ısıtma yöntemi ise elektrik rezistansı ile ısıtmaktır. Bu yöntemde elektrik rezistansları barelin değişik yerlerine monte edilir ve düzgün bir

ısı transferi gerçekleştirilir. Ekstrüder kısımlarındaki sıcaklık farkları ayrı kontrol mekanizmalarıyla sağlanır. Fakat bu yöntemde barelin polimerin işlenmesinden önceki ön ısıtılması uzun süre aldığından dezavantaj oluşturabilir (www.dow.com). Barel sıcaklığı işlenen polimere göre ayarlanır. Bu sıcaklık polimeri eritecek ve ısıl bozulmaya uğramayacak kadar yüksek seçilmelidir.

Ekstrüzyonda temel işlem değişkenleri vida hızı ve sıcaklık değişimidir. Temel konstrüksiyon parametreleri ise vida uzunluğu (L) ve çapı (D) olup bunların birbirine oranı (L/D) ekstrüder karakteristiğini belirlemektedir. L/D büyük ölçüde ekstrüderden çıkışı, polimer çıkış süresini ve polimere ısı transferi için uygun silindir yüzeyini belirler. Ekstrüder tasarımı yapılırken vida geometrisi önemli olmaktadır. Çizelge 5.1. filament üretiminde kullanılan standart bir ekstrüder vidasının temel geometrik büyüklüklerini göstermektedir (Altun Ş., 1999). Vida-barel geometrisi ve tasarımı daha geniş olarak altıncı bölümde ele alınacaktır.

Çizelge 5.1. Standart bir ekstrüder vidasının temel geometrik büyüklükleri (Altun Ş., 1999)

Vida uzunluğu	20D...30D
Besleme bölgesinin uzunluğu	4D...8D
Basınç bölgesinin uzunluğu	6D...10D
Vida adımı	1D
Vida dış genişliği	0.1D
Vida ucu-barel arası radyal açıklık	0.015D

L/D, ekstrüderi tanımlamakta önemli bir orandır. Ekstrüder konstrüksiyonunda önceleri 24/1 L/D oranı kullanılırken şimdiki eğilim 32/1 olmuştur. Bu da üretilen polimer kalitesini artıran önemli bir parametredir. Eriyiğin homojenliği daha iyi sağlanır. Monofilament üretiminde 1.5...2.5 inç çapında (D) ekstrüderler kullanılabilir (www.dow.com). Çeşitli büyüklüklerde ve L/D oranlarındaki tek vidalı ekstrüderlerin polimer üretim kapasiteleri Çizelge 5.2. 'de görülmektedir. Bu çizelgede genelde 24:1 (L/D) oranındaki ekstrüderler kullanılmıştır. Vida çapı (D) arttıkça aynı L/D oranındaki ekstrüderler için üretimin arttığı görülmektedir. Çizelgede 3.5"lik ekstrüder için 24:1 ve 30:1 L/D oranlarındaki üretim kapasitesi de görülmektedir. Buradan, L/D oranı arttığında

üretimin de arttığı anlaşılmaktadır. Çizelgede, monofilament lif üretiminde kullanılan ekstrüderlerin (1.5" ...2.5") polimer üretim kapasitesinin 22...115 kg/saat arasında olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2. Tek vidalı ekstrüderler için bazı dizayn-üretim büyüklükleri
(Levy, S., 1981)

Vida çapı (D)	Vida uzunluğu/çapı (L/D)	Üretim (kg/saat)
1.5" (3.81 cm)	24:1	22.65...27.18
2" (5.08 cm)	24:1	40.77...54.36
2.5" (6.35 cm)	24:1	67.95...113.25
3.5" (8.89 cm)	24:1	135.9...181.2
3.5" (8.89 cm)	30:1	158.55...203.85
4.5" (11.43 cm)	24:1	317.1...453.59
6" (15.24 cm)	24:1	543.6...724.8

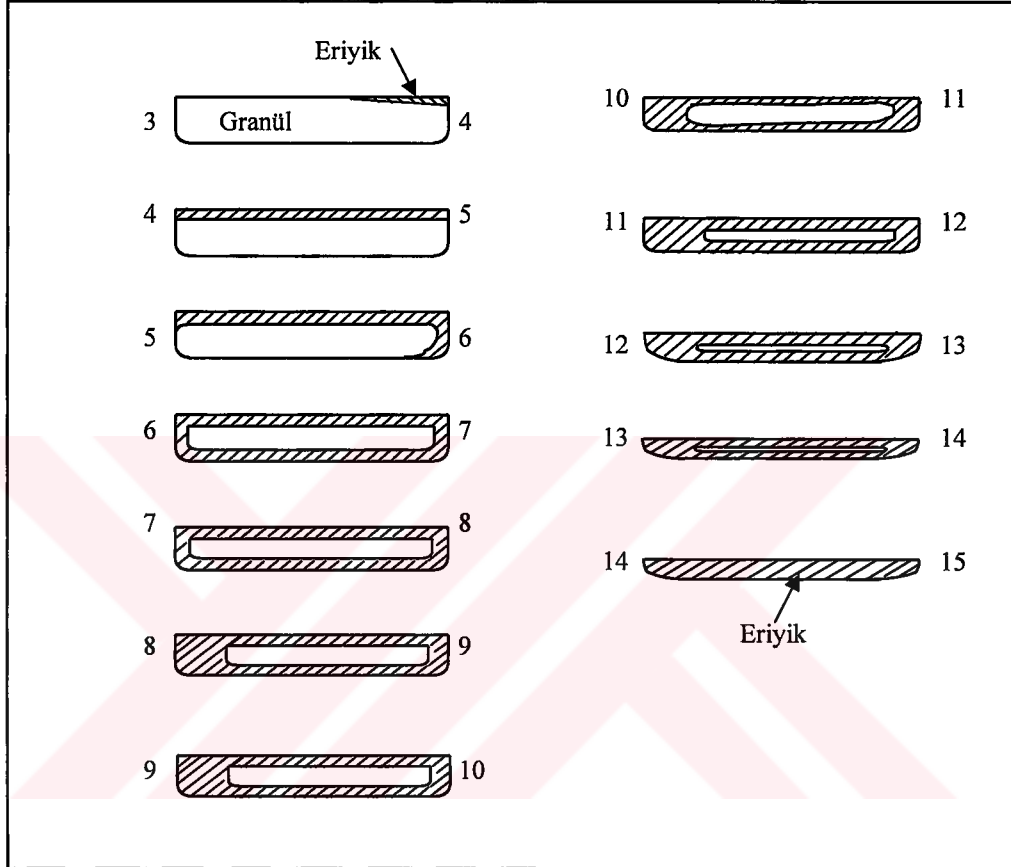
Ekstrüder motor gücü ekstrüder büyüklüğüne göre değişmektedir. Örneğin 9 inç çapında ve 24/1 L/D oranındaki bir ekstrüder için 110 kW (150 HP)'lık bir motor kullanılabilirken 32/1'lik bir ekstrüder için 183 kW (250 HP)'lık tahrik gücü uygun olmaktadır. Küçük ekstrüderler için ise (örneğin 2.5 inç çapındaki bir ekstrüder için) 36 kW (50 HP)'lık bir motor yeterli olabilmektedir (www.dow.com).

5.2.2. Eriyik Oluşumu

Yukarıda bahsedilen besleme, eritme ve pompalama bölgelerinde granül veya cips halindeki katı polimer karıştırılarak ve eritilerek kademeli bir şekilde eriyik halini alır. Besleme bölgesinde katı polimer eritme bölgesine taşınır, burada polimer eritilir ve eriyik basınç bölgesinden sonra çıkışa sevk edilir. Polimerin hacmi eriyince azalacağından taşıma bölgesindeki kanal hacmi basınç bölgesindeki kanal hacminden daha fazla olmalıdır.

Şekil 5.4.'te birbirini izleyen vida kanalları içerisindeki eriyik oluşumu şematik olarak verilmektedir. Burada, ekstrüder girişinden itibaren 3 ve 4 no'lu vida dişleri arasında kalan kanalda erime işlemi başlamakta ve daha sonraki kanalda vida-barel arasında film tabakası oluşmaktadır. Eritme işlemi ve vida dönüşünün etkisiyle polimer vida kanalı içerisinde bir "havuz" oluşturmaya başlar ve katı polimerin bu havuz içerisine hapsolmesiyle (6-7 vida dişleri arasındaki kanal) eritme işlemi daha etkili olmaktadır. Eriyen polimer vida hareketine ters olacak şekilde (vida giriş

bölgesine doğru) eriyik havuzu oluşturmaya başlar (8-9 vida dişleri arasındaki kanal). Katı polimerin kütesinin hacmi gitgide azalarak 14-15. vida kanalında %100 erimiş polimer halini almaktadır.

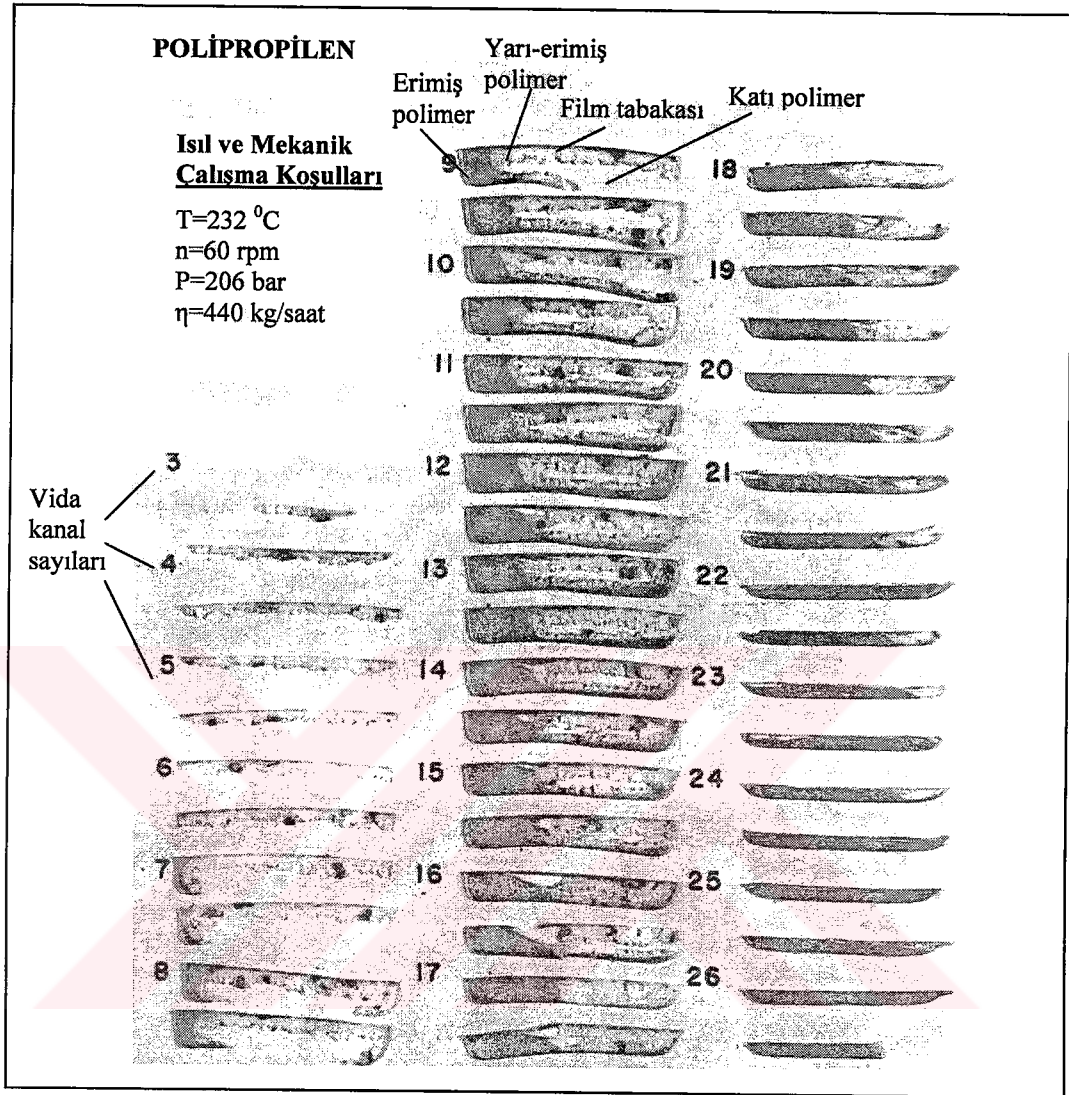


Şekil 5.4. Tek vidalı ekstrüderde kademeli olarak eriyik oluşumu (Levy, S., 1981)

Ekstrüderin eritme mekanizmasının daha iyi anlaşılabilmesi için çeşitli deneyler yapılmıştır. Darnell ve Mol'un yaptığı deneylerde polipropilen, düşük ve yüksek yoğunluklu polietilen kullanılarak ekstrüderdeki eritmenin nasıl olduğu ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Ekstrüzyon prosesinde, ekstrüder boyunca polimer eriyik özelliğinin nasıl değiştiğini anlayabilmek için ekstrüder içindeki polimer kütesinin dışarıya çıkarılması gerektiğinden, deneyde kullanılan ekstrüder vidası ve bareli ayrılabilir özellikte olup proses esnasında montajlı durumdadırlar. Ekstrüder, polimeri eritme ve pompalama işlemini standart bir şekilde gerçekleştirirken vida aniden durdurulur ve şok bir soğutma (azot gazı veya soğuk su kullanılarak) ile ekstrüder içerisindeki polimer katılaştırılır. Polimer tam olarak katılaştıktan sonra barrel demonte hale getirilerek (sökülerek) vida ve üzerindeki polimer açığa çıkar.

Daha sonra vida tahrik sisteminden sökülerek ayrılır. Katı polimer sabit tutulur ve vidaya tahrik bu sefer tersinden verilerek vidanın içi oyuk ve helisel olan polimer kütlesinden ayrılması sağlanır. Böylece ekstrüder içerisinde oluşan polimer durumunun incelenmesi için katı polimer kütlesi serbest hale getirilmiş olur. Elde edilen silindirik, içi helisel olarak oyuk olan katı polimer kütlesi enine kesilerek ekstrüder boyunca her vida dönüşündeki katı ve erimiş polimerin nasıl oluştuğu net olarak anlaşılmaktadır. Şekil 5.5.'te, Darnell ve Mol'un, Polipropilen kullanarak 232⁰C sıcaklık, 60 dev/dak vida hızı, 440 kg/saat'lik üretim verimi ve 206 bar basınç elde edilen bir ekstrüder kullanılarak her kanal içerisinde oluşan polimerin erimiş ve katı durumları gösterilmektedir. Siyah renkli kısımlar erimiş polimeri, beyaz-gri olan ve pürüzlü görülen kısımlar ise erimemiş veya yarı erimiş polimeri göstermektedir. Şekildeki sayılar ekstrüder başlangıcından itibaren vida adımları arasında kalan kanal sayılarını göstermektedir. Şekilden görüleceği gibi vidanın 7. kanalında siyah renkli erimiş polimer ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla 7. kanala kadar olan kısma taşıma bölgesi denilebilir. Polimerin tamamen siyah renkli olduğu, yani tamamen erimiş olduğu 24. vida kanalından sonraki kısım ise basınç bölgesi olarak kabul edilebilir. Böylece 7-24 no'lu vida kanallarının ise eritme bölgesi olduğu anlaşılmaktadır.

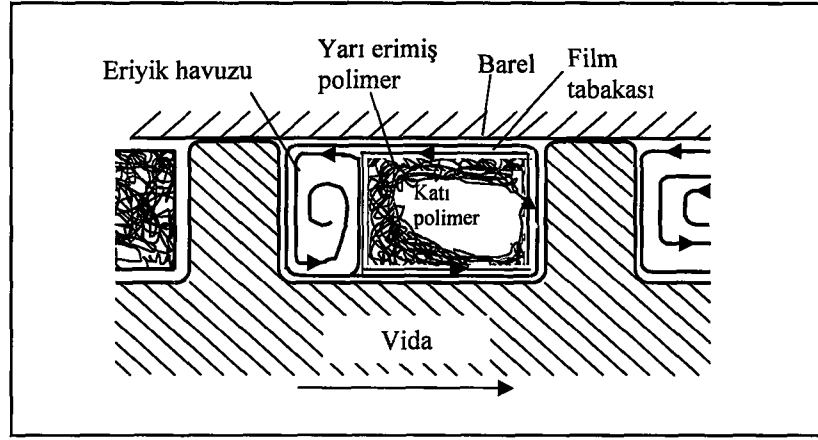
Şekil 5.5.'te erimiş polimerin vidanın giriş bölgesine doğru hareket etmesi dikkat çekmektedir. 9 ve 10 no'lu kanala bakıldığında erimiş polimerin vida kanalının hareketine ters olacak şekilde konumlandığı, ayrıca polimer kütlesinin barel ile temas ettiği yerlerde ince bir film tabakası oluştuğu görülmektedir. Yarı erimiş polimer gri ve pürüzlü olarak görülmektedir. Bu bölgede polimer barel ile ve vida kanalının solunda yer alan eriyik ile temas halindedir ve erimeye müsait bölgelerdir. Merkezde ise tamamen katı polimer beyaz renkli olarak görülmektedir.



Şekil 5.5. Ekstrüder boyunca her vida dönüşünde oluşan polimer eriyik durumları (Tadmor Z., Klein I.)

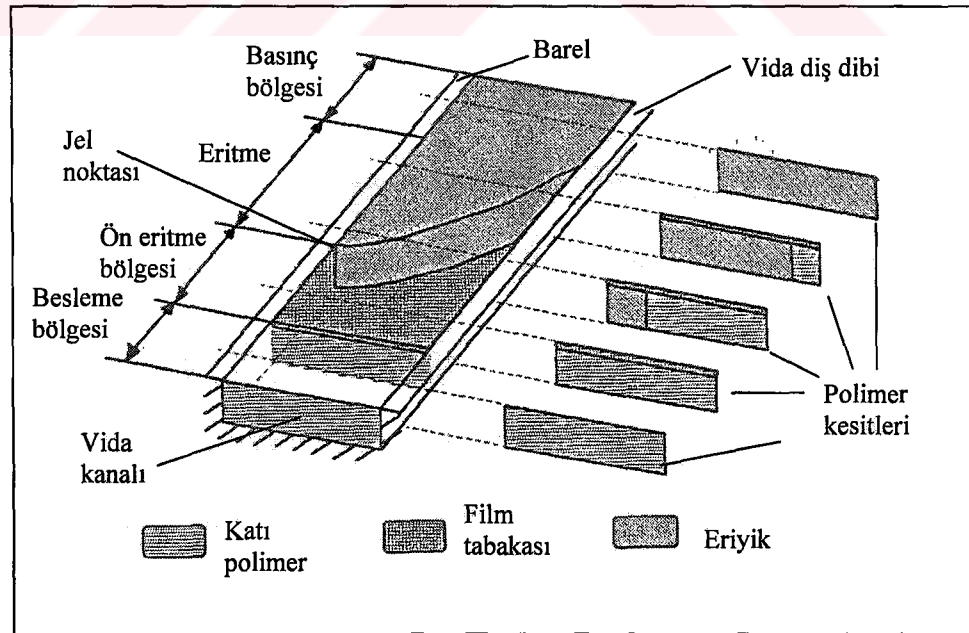
Taşıma bölgesinden basınç bölgesine geçiş cips veya granül halindeki katı polimerin ısıtılmış barrel ve erimiş polimerlerle ısı teması geçerek iletim yoluyla ısınması ve erimesi sonucu kademeli olarak gerçekleşir. Vida kanalı içerisindeki eritme mekanizmasının anlaşılabilmesi için Şekil 5.5.'te verilen 9. ve 10. vida kanallarında katı ve eriyik haldeki polimerin durumu Şekil 5.6.'da ayrıca verilmiştir. Polimerin ısıtıcı eleman olan barrel ile temas ettiği yerlerde eriyerek ince film tabakası oluşturduğu ve barrel-vida arasında yağlayıcı madde gibi davrandığı görülmektedir. Eriyen polimer vidanın öteleme hareketine ters olacak şekilde vida kanalının geri kısmına doğru eriyik havuzu oluşturmaya başlar. Havuzdaki malzeme, sıcaklık artışı ve vida hareketine bağlı olarak tedrici bir şekilde hacmini artırır ve katı

polimeri hapsederek basınç bölgesine yakın vida kanallarında tamamen eriyik halini alır.



Şekil 5.6. Tek vidalı ekstrüderde eritme mekanizması (Levy, S., 1981)

Şekil 5.7.'de katı ve erimiş polimerin vida kanalı içerisinde oluşturduğu durum ve ekstrüderin değişik bölümlerinden alınan polimer kesitleri şematik olarak verilmektedir (vida adımları şekilde görülmemektedir). Polimerin tüm vida kanalları göz önünde bulundurularak erimenin vida boyunca nasıl oluştuğu daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 5.7. Polimerin ekstrüder boyunca vida kanalı içindeki erime durumu (Stevens, M.J., Covas, J.A., 1995)

Polimerlerin karakteristik özelliklerinden olan thixotrophy, viskozite, sıcaklık değişimine adapte olabilme ve sürtünme katsayısı gibi parametreler üretim sınırlamalarını belirlemektedir. Erimiş polimer kütlesinin şeklini koruyabilme özelliğine **thixotrophy** denilmektedir. Başka bir ifadeyle thixotrophy, *jel* olarak bilinen ne katı ne de sıvı durumdaki maddeye dokunulmasına verdiği tepki derecesi (titremesi) olarak düşünülebilir. Tekstil lifi olarak üretilecek olan polimerlerin bu değeri genellikle düşüktür. Bunun nedeni, daha viskoz ve kararsız bir yapıda olan polimerin ekstrüder çıkışında sahip olduğu şekli değiştirme eğiliminde olmasıdır. Polimerin thixotrophy değeri yüksek olduğunda, erimiş polimer kararlı ve ekstrüder sonrasında sahip olduğu şekli koruyabilen bir yapıdadır. Çizelge 5.3.'te önemli bazı polimerlerin thixotrophy, viskozite, sıcaklık değişimine ve sürtünme ısisına karşı hassaslık durumları birbirlerine göre karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Çizelgedeki rakamlar 1...9 arasındadır ve rakamın artmasıyla üretime karşı hassaslık ta artmaktadır. Yani büyük rakamlara sahip polimerler için, üretim esnasında verilen sıcaklık, güç, vida hızı gibi değerler, teoride belirlenmiş değerlere az tolerans tanınarak uygulanırken, küçük rakamlı polimerlerde üretim parametreleri için tolerans aralığı büyümektedir. Üretimde tolerans değerinin az olması üretim hassaslığının büyük olduğunu göstermektedir. Çizelgedeki polimerlerin sıralanışı thixotrophy değerleri esas alınarak yapılmıştır. Buradan *thixotrophy* değeri en düşük olan **Polyamid**'in diğer polimerlere göre ekstrüder çıkışında verilen şekli muhafaza etmesinin daha zor olduğu anlaşılmaktadır. **Rijit PVC** ise katı bir davranış gösterdiğinden verilen şekli muhafaza ederek ekstrüder sonrası işlemleri kolaylaştırmaktadır.

Çizelge 5.3. Çeşitli polimerlerin karakteristiklerinin üretilebilme hassaslığına etkisi (Levy S., 1981)

Malzeme	Thixotrophy	Eriyik viskozitesi	Sıcaklık değişimi	Sürtünme ısısı
Rijit PVC	1	1	3	4
Elastik PVC	2	2	3	2
Polikarbonat	4	3	4	4
Polyester	4	4	2	3
Polipropilen	6	4	3	2
Yüksek yoğunluklu polipropilen	6	5	5	2
Polietilen	7	5	6	2
Polyamid	8-9	7	3	2

Polimer, barel ve vida arasında kayma-kesme kuvvetlerine maruz kalır. Polimerin yüksek viskoziteli olması üretimde istenen bir durumdur. Polimerlere uygulanan kayma-kesme kuvvetlerinin artışı ile *eriyik viskozitesi* de yüksek oranlarda artıyorsa üretim daha da kolaylaşır.. Yukarıdaki çizelgeden anlaşılabacağı üzere, PVC'ye kayma-kesme kuvveti uygulandığında viskozitesi diğer polimerlere göre yüksek değerleri aldığından, sıcaklık kontrolü için tolerans aralığı büyük olmaktadır.

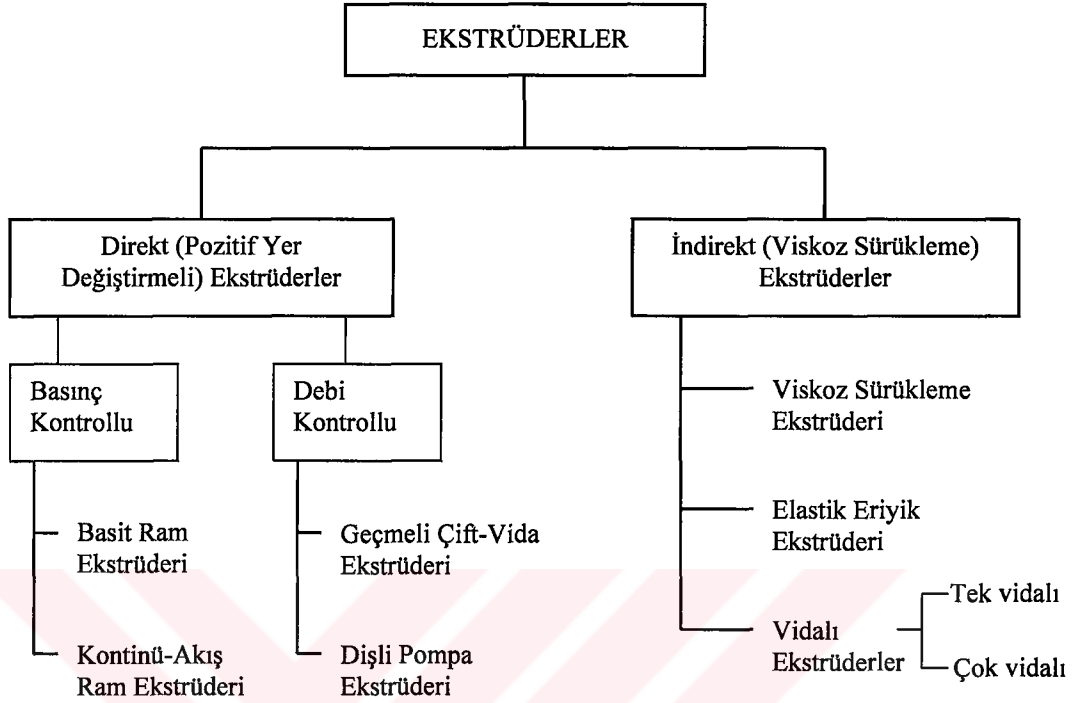
Barel boyunca verilen ısı etkisiyle polimerde bir *sıcaklık değişimi* gözlenir. Polimerlerin bu sıcaklık değişimine adapte olabilmesi ve polimerin ısıyı fiziksel kimyasal yapısında önemli bir değişim olmadan hızlı bir şekilde absorbe edebilmesi üretimi etkilemektedir. Çizelgeden, yüksek yoğunluklu **polipropilen** ve **polietilenin** sıcaklık değişimine diğer polimerlerden daha hassas olduğu görülmektedir. **Polyesterin** ise sıcaklık değişimine iyi adapte olduğu ve üretiminin bu parametre için daha kolay olduğu anlaşılmaktadır. Barel dizaynı ve ısı elemanlarının konumu polimerlerin sıcaklık değişimine karşı hassaslığı dikkate alınarak oluşturulmalıdır.

Ekstrüder içerisinde yüksek kayma-kesme kuvvetlerinin olduğu bölgelerde (eritme ve özellikle basınç bölgesinde) *sürtünme kuvveti* oluşmaktadır. Oluşan bu viskoz sürtünme kuvveti, polimer sıcaklığını arttırarak ve polimer içerisindeki makromolekülleri kesmek suretiyle düşük moleküler ağırlıklı polimer üretilmesine ve böylece polimer kalitesinin düşmesine (degradasyon) sebep olmaktadır. Düşük moleküler ağırlıklı polimerlerin ise mukavemet, elastikiyet gibi fiziksel özellikleri düşük değerlerde olmaktadır. Polimere barel tarafından verilen ısıya ilave olarak

sürtünme ısısının da sıcaklığı artırması polimerin degradasyonuna veya yanmasına sebep olabilmektedir. Sürtünme ısısı, barel iç yüzeyinde ısınma ve aşınmalara sebep olduğundan ekstrüder malzemesi seçiminde de önemlidir. Oluşan sürtünme kuvveti ayrıca, verilen tahrik gücünü ters yönde etkilemektedir. Çizelge 5.3.'te görüldüğü üzere **rijit PVC** katı bir davranış gösterdiğinden sürtünme fazla oluşur ve oluşan sürtünme ısısı bu polimer için dikkate alınmalıdır. Tekstilde kullanılan polimerlerden **polyester, polipropilen, polietilen ve polyamid** için sürtünme daha düşük değerlerde olup, sürtünme ısısı düşük değerleri almaktadır. Sürtünme etkisiyle makromoleküllerin etkilenmesi de düşük seviyede olup tekstilde kullanılan polimerler için sürtünme fazla önem arz etmemektedir.

5.3. Ekstrüder Çeşitleri

Buraya kadar bahsi geçen ekstrüder, günümüzde en çok kullanılan ve tercih edilen konik ve tek vidalı ekstrüderdir. Ekstrüder sayılabilecek ilk makina 19. yüzyılın ikinci yarısında imal edilmiştir. Bu ekstrüderde selülözik polimerler işlenirken, 1940'lı yıllarda sentetik polimerlerin bulunmasıyla çeşitli ekstrüderler dizayn edilmeye başlanmıştır. Ekstrüderleri basınç oluşturma metoduna göre direkt ve indirekt (viskoz sürüklenme) olarak ikiye ayırmak mümkündür. Şekil 5.8.'de ekstrüderlerin basınç oluşturma metoduna göre sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 5.8. Ekstrüderlerin basınç oluşturma mekanizmasına göre sınıflandırılması

Direkt iletimin (pozitif yer değiştirme) olduğu ekstrüderler basınç ve debi kontrollü olmak üzere ikiye ayrılırlar. İlk ekstrüderlerden basit ram ve kontinü-ram ekstrüderleri basınç kontrollü, geçmeli çift vida ve dişli pompa ekstrüderleri ise debi kontrollü pozitif yer değiştirmeli ekstrüderlerdir. İndirekt veya viskoz sürüklemeye ekstrüderleri, viskoz sürüklemeye, elastik eriyik ve günümüzde en çok kullanılan modern vidalı ekstrüderlerdir. Vidalı ekstrüderler tek ve çok vidalı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Çok vidalı ekstrüderler ise çoğunlukla iki vidalı olmaktadır. Şekil 5.8.'de gösterilen ekstrüderler aşağıda sırasıyla anlatılmaktadır.(Melt Extrusion).

5.3.1. Pozitif Yer Değiştirmeli Ekstrüderler

Pozitif yer değiştirme, malzemeye verilecek itme hareketinin dolaylı veya döndürerek değil doğrudan öteleme yoluyla yapıldığı sistemlerde kullanılan bir kavramdır. Geometrik yapıları gereği belirli kaçakların oluştuğu, eritilen akışkanın çıkışa doğrudan sevk edildiği sistemler pozitif yer değiştirmeli sistem olarak bilinir. Bir silindir içerisinde eritilen polimerin bir piston ile itilerek çıkışa sevk edildiği sistemlere pozitif yer değiştirmeli ekstrüder denilmektedir. Pozitif yer değiştirmeli

ekstrüderler basınç kontrollü ve debi kontrollü olmak üzere ikiye ayrılırlar. Basit ram ve sürekli-ram ekstrüderi basınç kontrollü, dişli pompalı ve çift vidalı ekstrüderler ise debi kontrollü mekanizmalara sahiptirler. Kontrolün basınç veya debiye bağlı olması kullanılan sistemlerin yapısal özelliğinden kaynaklanmaktadır.

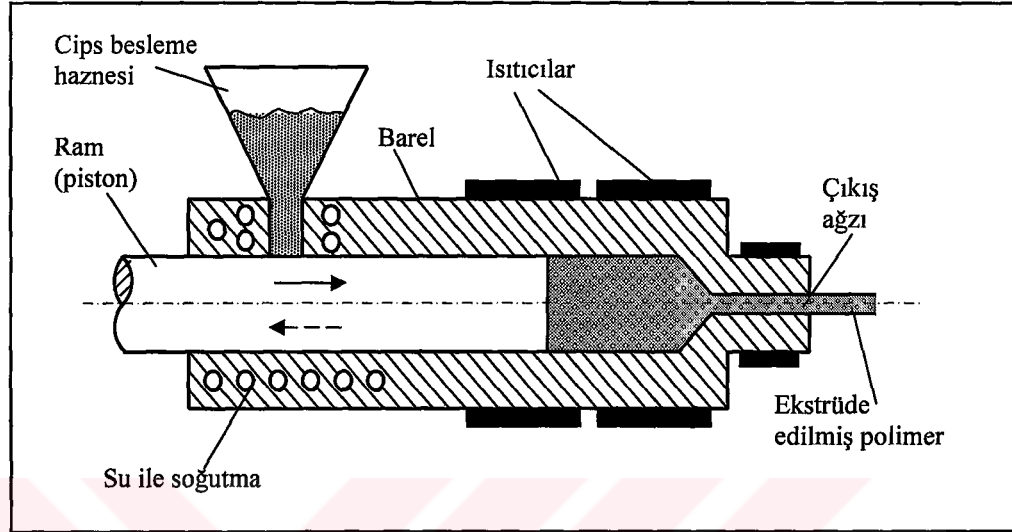
5.3.1.1. Basit Ram Ekstrüderi

Basit ram ekstrüderi bilinen ilk ekstrüderlerden biri olup basit bir mekanizmaya sahiptir. Şekil 5.9.'da bir basit ram ekstrüderi görülmektedir. Bir silindir (barel), bu silindir üzerinde bulunan ısıtıcı elemanlar, polimer (cips) besleme haznesi ve bir piston (ram)'dan oluşan basit ram ekstrüderine tahrik, mekanik veya hidrolik sistemler aracılığıyla verilmektedir. Pistona iletilen hareket pistonun ileri-geri hareket etmesini sağlar. Pistonun bir hareket aralığı (strok) vardır ve besleme haznesi ramın hareketinin başlangıcıdır. Besleme haznesinden alınarak silindir içerisine biriktirilen katı polimer, ısıtıcı elemanlar vasıtası ile erimeye başlar. Ramın hareketine başlamasıyla eriyen polimer sıkıştırılır ve basınç oluşumu sağlanır. Rama verilen kuvvet ve ekstrüder çıkışı kesit alanı sabit olduğundan sabit basınç değerinde polimer çıkışa sevk edilir. Dolayısıyla basit ram ekstrüderine “basınç kontrollü” denilmektedir. Ayrıca ramın aşırı ısınmasını önlemek için besleme kısmında su ile soğutma yapılmaktadır.

Ram ekstrüderlerinde piston (ram) aldığı malzemeyi iterek çıkışa sevk ettikten sonra tekrar malzeme almak için geriye döndüğünden ekstrüzyon işlemi kesiklidir. Aynı zamanda, ekstrüder içerisindeki polimere karıştırma hareketi verilmediğinden ısı homojenite az olmaktadır. Bu da çıkışta polimer içerisinde varyasyonlara sebep olmaktadır. Termoset malzemeler için prosesin diskontinü olması avantajlı olmakla birlikte termoplastik malzemeler için bu durum iyi değildir.

Dover (İngiltere)-Calais (Fransa) arasındaki telgraf hattının deniz altından geçmesi nedeniyle, selülozik bir polimer olan “gutta pereha”, bakır tellerin üzerini kaplamak amacıyla Şekil 5.9.'da görülen tipik basit ram ekstrüderi ile ekstrüde edilmiştir (1851). Ram ekstrüderlerinde kullanılan ilk malzemeler selüloz nitrat ve kazeindir. Selüloz nitratın alev alma ve aşırı ısıtmadaki tehlike oluşturacak

durumlarından dolayı polimer, solvent eklenmesi ile yumuşatılarak ekstrüzyonun düşük basınç ve sıcaklıkta yürütülmesi sağlanmıştır.



Şekil 5.9. Basit ram ekstrüderinin şematik gösterimi (Levy, S., 1981)

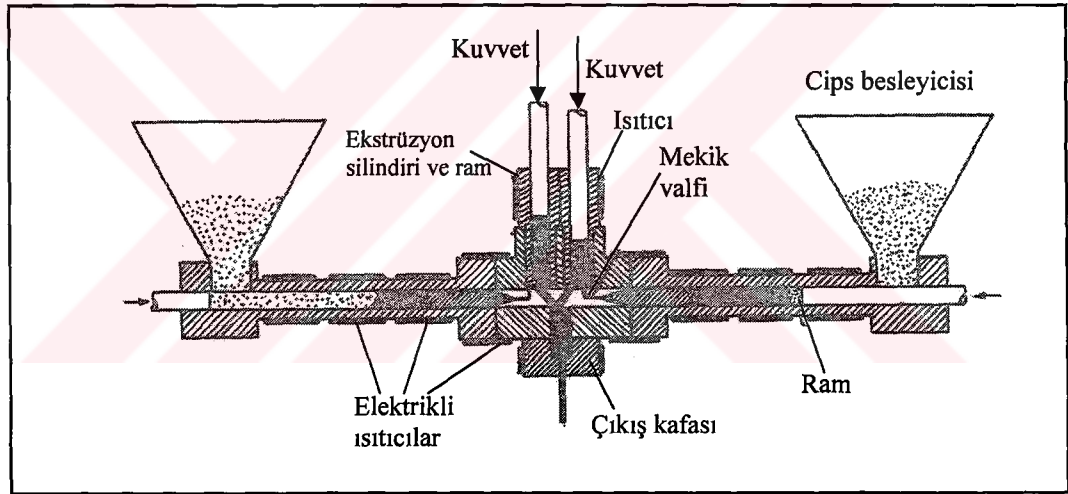
Sentetik polimerlerin 1920'li ve 1930'lu yıllarda bulunmaya başlanması ile birlikte bunların yeni mühendislik problemleri yanında işleme problemleri de oluşmuştur. Bu problemlerden, örneğin solvent iticiliğinden dolayı, polietilenin ekstrüde olabilmesi için yüksek sıcaklıklara çıkılması gerekir. Ram ekstrüderlerinde, sıcaklıktan bağımsız olarak limitsiz ve hassas basınç değerlerine ulaşılabilmesine rağmen, bu ekstrüderlerin bir çok dezavantajı da vardır. Bunlar çıkışın kesikli olması, ekstrüzyon silindiri içinde polimerin ısıtılırken fazla süre içinde kalması ve homojenitenin az olması olarak sıralanabilir.

5.3.1.2. Kontinü-Akış Ram Ekstrüderi

Sıcaklığa bağlı olmayan yüksek basınçlı ekstrüder olan ram ekstrüderinde sıcaklığa ve polimer kayma gerilmelerine karşı hassas olan termoplastik malzemelerin de kullanılabilmesi için bu ekstrüderlerin modifiye edilmesi gerektiği görülmüştür. Ram ekstrüderlerinin diskontinü olması, aşırı ısınmaların oluşması ve havanın polimerle reaksiyona girebilmesi sorunları kontinü-ram ekstrüderlerinde ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.

Şekil 5.10.'da Westover tarafından geliştirilen bir kontinü-ram ekstrüderi gösterilmiştir. Şekilde iki adet besleme haznesi, eksenel ve düşey yönde ikiye adet

silindir ve bu silindirler içerisinde toplam dört adet ram (piston), ısıtıcı elemanlar, mekik valfleri (iki adet) ve çıkış bölgesi görülmektedir. Sistem iki adet ekstrüderin bir arada kullanılması ile oluşturulmuştur. Sol taraftaki ekstrüzyon sisteminde eksenel silindir içerisindeki ram, besleme haznesinden polimeri alıp hareketine başlar ve bu yöndeki mekik valfinin açılmasıyla sol düşey yöndeki ekstrüzyon silindirine eriyen polimeri biriktirir. Eksenel yöndeki ram strokunun sonuna geldiğinde geriye döner ve düşey yöndeki ram biriken polimeri itmek suretiyle çıkışa sevk eder. Sağ taraftaki ekstrüder ise sol taraftakinin hareketinin tersini yapar. Yani, eksenel yöndeki ramlardan birisi hareketine başladığında diğeri hareketini bitirerek polimeri düşey yöndeki silindire sevk etmiştir. Düşey yöndeki ramlardan biri dolum yaparken, diğeri boşaltım yapmaktadır. Dolayısıyla sürekli bir üretim vardır ve bu sisteme kontinü-akış denilmesinin sebebi de budur.

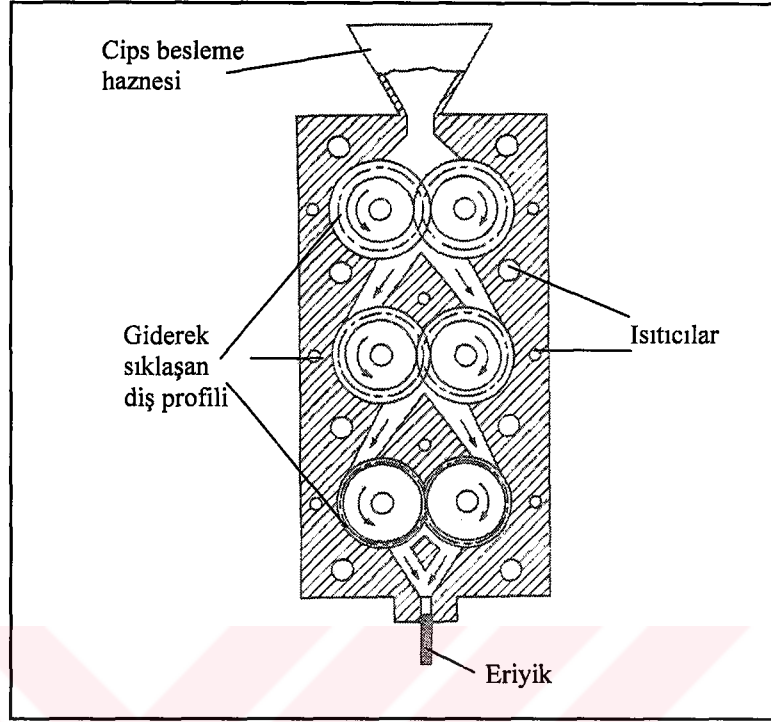


Şekil 5.10. Kontinü-akış ram ekstrüderi (Levy, S., 1981)

Bu ekstrüderin en önemli elemanı mekik valfidir. Bu valf, ekstrüzyon silindirine polimeri biriktirdikten sonra sevkeder ve bu silindirden çıkış bloğuna polimer itilirken de çıkışın kesintiye uğramasını önler. Bu ekstrüderde de pompalama limitsiz olmakla birlikte istenen sıcaklık seviyesi ram ekstrüderlerine göre biraz daha iyileştirilmiş olsa da polimer karışımı tam olarak sağlanamamakta ve hidrolitik parçalanmalar olabilmektedir. Hidrolitik parçalanma, polimerin kimyasal yapısındaki oksitlenmeye denilmektedir.

5.3.1.3. Dişli Pompa Ekstrüderleri

Dişli pompalar pozitif yer değiştirmeli pompalar olarak kullanılırlar ve bir çok uygulamada etkinliği, güvenilirliği ve basitliği için tercih edilirler. Şekil 5.11.'de üç çift dişli pompanın ekstrüder elemanı olarak kullanıldığı bir dişli pompa ekstrüderi görülmektedir. Şekilde bir besleme bölgesi, gövde, gövde içerisinde üç çift dişli ve ısıtıcılar yer almaktadır. Dişli çiftlerinin iç çapları birbirine eşittir ve bu üç dişli çifti aynı hızda döndürülmektedirler. Dişlilerin diş geometrisinin gittikçe küçülerek sıklığının arttığı ve buna bağlı olarak taşıyıcı bölge hacminin gittikçe azaldığı görülmektedir. Bu üç dişli çiftinin diş sıklıklarını, daha önce bahsedilen vidalı ekstrüderlerdeki besleme, eritme ve basınç bölgelerindeki vida kanal derinliğinin giderek azalmasına benzetmek mümkündür. Şekilde dikkati çeken bir diğer husus, dişlilerden sonra, gövde içerisinde malzemenin ikiye ayrılarak diğer dişli çiftine sevk edilmesidir. Böylece eriyik, dişlilerin birbiri ile temas eden bölgesinde değil, dişli ile gövdenin temas ettiği bölgelerde taşınarak basınç oluşumu sağlanır. Bu taşınma iki türlü avantaj sağlar. Birincisi; eriyik, dişlilerin pozitif basınç oluşturduğu bölgede taşındığından daha yüksek basınç değerleri elde edilir. İkincisi ise; polimerin dişliler arasında taşındığında moleküllerin kesilmeye maruz kalması neticesinde düşük moleküler ağırlıklı polimer üretimini engellemesidir. Polimer basıncını arttırmak için daha sık vida profilli dişliler kullanılmaktadır. Sistemde ısıtıcılar yer almakta ve polimeri eritmektedirler. Burada malzeme, yerçekimi kuvveti ve dişli pompalar arasındaki basınç kuvvetiyle hareket ettirilir. Silindirik çevre ile pompa dişleri arasındaki mesafenin az olması ve malzemenin bu dişler arasına dolması sebebiyle polimer hızı dişlilerin dönüş devrine bağlıdır. Dolayısıyla bu ekstrüdere sabit-debili ekstrüder denilebilir.



Şekil 5.11. Pasquetti dişli pompa ekstrüderi (Levy, S, 1981)

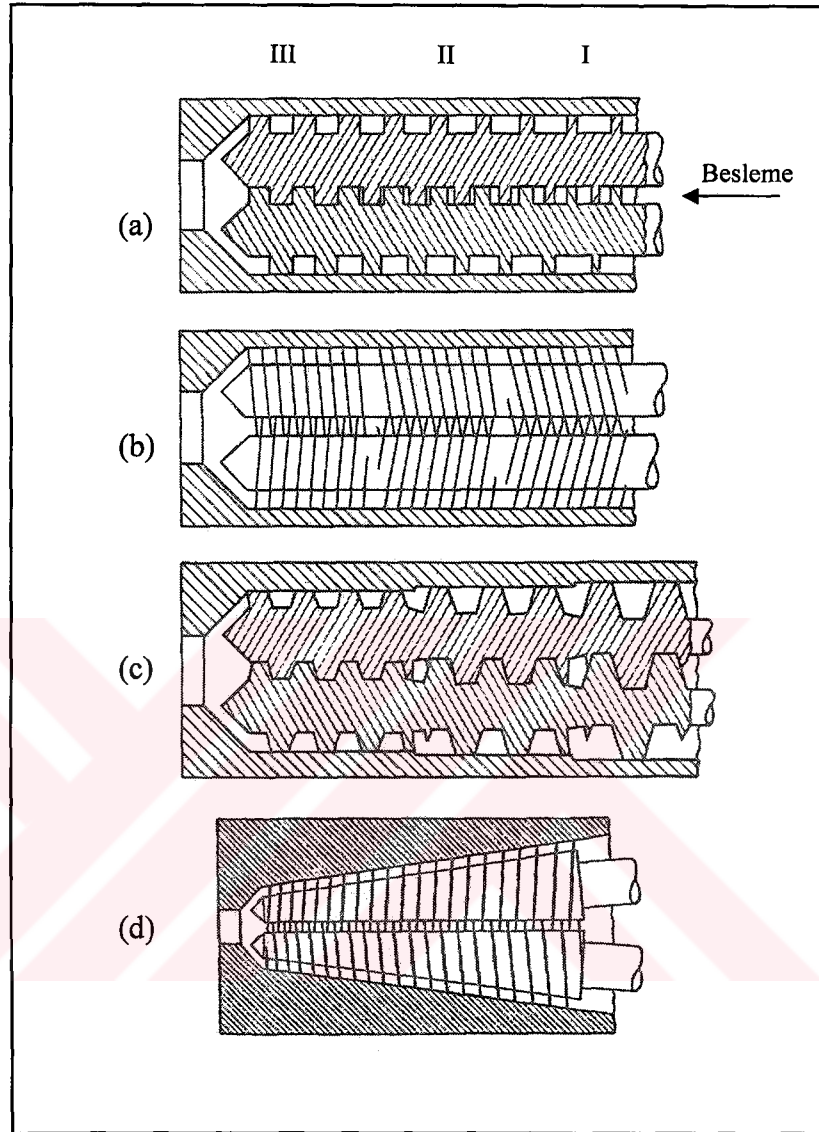
Isıtıcı elamanlar vasıtasıyla ve polimer malzemesinin dişler arasındaki viskoz sürtünmesinden dolayı polimere ısı geçişi sağlanır. Erimemiş granüller, yarı erimiş ve tam erimiş polimerler bir arada bulunduğundan 3 aşamadaki dişli pompaların diş büyüklüğü gittikçe azaltılarak tamamen erimiş polimer elde edilmeye çalışılır. Burada dikkat edilecek husus, bütün dişli pompaların aynı devir sayısında çalıştığıdır. Dişli pompanın iki önemli üretim sınırlaması vardır. Birincisi, yüksek viskozitedeki polimerde kavitasyon yapmasıdır; diğeri ise, dişlilerin yüksek kayma gerilmesi oluşturmasıdır. Kavitasyon olduğunda, polimer içerisinde hava baloncukları patlayarak havanın polimer içerisinde dağılmasıyla oksitlenme ve hidrolik parçalanma denilen kimyasal olay gerçekleşmektedir. Kayma/kesme gerilmesine karşı hassas polimerler için kullanışsızdır. Genellikle düşük viskozite ve düşük molekül ağırlığındaki polimerler için kullanılırlar.

Dişli pompalar, konvansiyonel tek vidalı ekstrüderlerde son eleman olarak basınç oluşturmak için kullanılabilir. Vida kapasitesinin üzerindeki basınç ihtiyacı için bu pompa kullanılabilir. Özellikle filament lif üretiminde ekstrüder sonrasında kullanım için uygundur.

5.3.1.4. Geçmeli Çift-Vida Ekstrüderi

Geçmeli çift-vida ekstrüderleri işlenen malzemenin vida dişleri arasında izole bir şekilde hapsolmasıyla taşınmasından dolayı pozitif-yer değiştirmeli ekstrüder olarak düşünülür. Ram ekstrüderleri kadar pozitif yer değiştirme belirgin olmasa da bu ekstrüderleri de pozitif yer değiştirmeli olarak kabul etmek gerekir (Levy, S., 1981). Vida adımları arasında kaçak akış ihmal edilebilecek seviyededir. Şekil 5.12. çeşitli geçmeli çift-vidalı ekstrüder örneklerini göstermektedir. (a) şeklinde vida çapı ve vida eğimi sabit tutulmuş, vida kanalı ise besleme bölgesinden çıkış bölgesine doğru git gitgide daraltılmıştır. Şekilden anlaşılacağı üzere geri akış veya kaçak akış vidanın besleme bölgesinde olabilmektedir, çünkü burada vida kanalları tam dolu değildir. Vidanın son bölümlerinde ise geri-akış veya kaçak akış neredeyse hiç yoktur ve yüksek basınç elde edilir. (b) şeklinde ise vida çapı, kök çapı sabittir. Bu makinada üç bölge mevcuttur, bu bölgelerde vida eğimi git gide dikleşmektedir. I. bölgede taşıma, II. bölgede eritme, III. bölgede pompalama yapılmaktadır. Bu ekstrüderde kaçak akış ve geri akış yoktur. (c) şeklinde ise eriyik kütlesi değişik bir vida profilinde taşınmaktadır. Burada da üç bölge vardır ve bu bölgelerdeki vida çapı, kök çapı ve vida eğimi değerleri değişmektedir. (d) şeklinde ise konik vidalar kullanılarak git gide azalan bir taşıma hacmi görülmektedir. Vida eğimi ve adımı sabitken vida kökü uzunluğu besleme bölgesinden çıkış bölgesine doğru azalmaktadır.

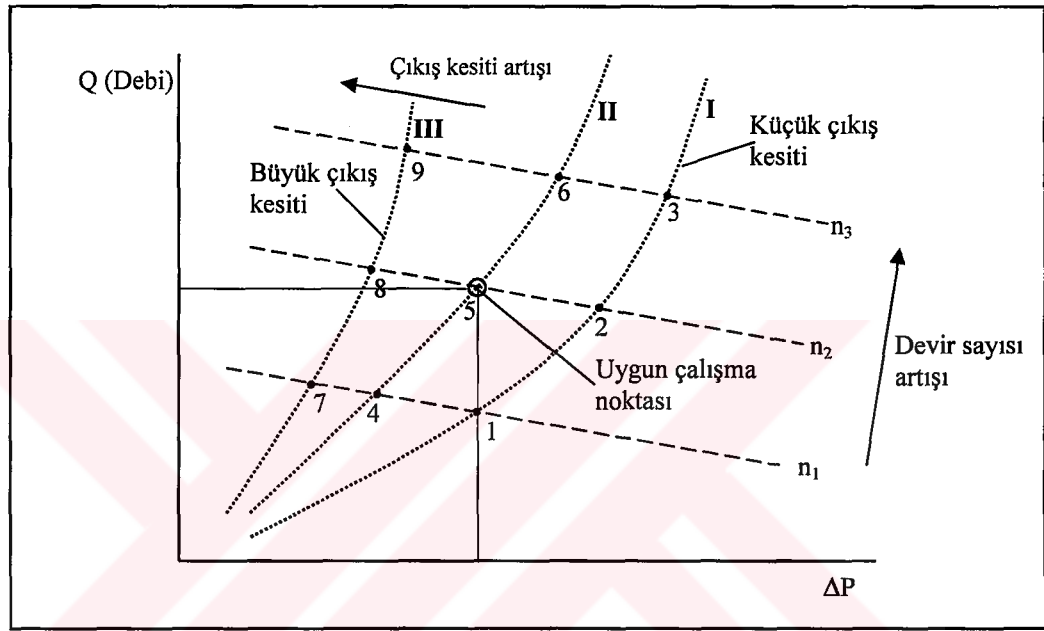
Geçmeli çift vida ekstrüderleri pozitif pompalama hareketinin yanı sıra viskoz-sürüklenme ve polimer üzerinde kayma hareketlerinin olması nedeniyle iyi bir karıştırma sağlar. Fakat tek-vidalı ekstrüderlerle karşılaştırıldığında polimerin hareketinde viskoz-sürüklenme hareketinin önemli bir payı olmadığı görülür. Pozitif-yer değiştirmenin bu makinalarda daha yoğun olmasından dolayı yüksek sıcaklıklara çıkılmadan da yüksek basınç elde edilebilir. Rijit polivinilklorid'in ısıya karşı hassas olmasından dolayı işlenmesinde bu ekstrüderler kullanılmıştır.



Şekil 5.12. Geçmeli çift-vida örnekleri (a) Mapre, (b) Pasquetti, (c) Coloumb, (d) Konik (Levy, S., 1981)

Geçmeli çift vida ekstrüderleri verilen sabit vida devrinde sabit debi ile çalışan makinalardır. Geçmeli çift-vida ekstrüderlerinin farklı çıkış kesitlerinde ve farklı vida hızlarında oluşan debi-basınç eğrileri toplu halde Şekil 5.13.'de (Marhenkel) görülmektedir. Şekilde üç değişik vida hızında ($n_1...n_3$) debi-basınç değişimi görülmektedir. Ekstrüder vidası belli bir hızda dönerken basıncın artması erimiş polimer debisinin azalmasına neden olur. Haızın artması ile, beklendiği gibi, aynı basınç değerlerinde debi artmaktadır. Şekilde üç değişik ekstrüder çıkış kesitinde karakteristik davranışı görmek için yeni üç eğri, hız eğrilerini kesecek

şekilde yerleştirilmiş olup bunlar çıkış kesit eğrileri (I...III) olarak adlandırılmaktadır. Farklı çıkış kesitlerinde farklı hızlarda debi-basınç ilişkisi incelenebilmektedir. Şekilde hız-çıkış kesiti eğrilerinin kesişme noktaları da işaretlenmiştir (1...9). Şekilde II ile gösterilen çıkış kesitine sahip bir ekstrüderde n_2 hızıyla dönen bir vidanın oluşturacağı debi-basınç karakteristik değerleri işaretlenmiştir.



Şekil 5.13. Geçmeli çift-vida ekstrüderlerinin tipik performans karakteristik eğrisi (Melt Extrusion)

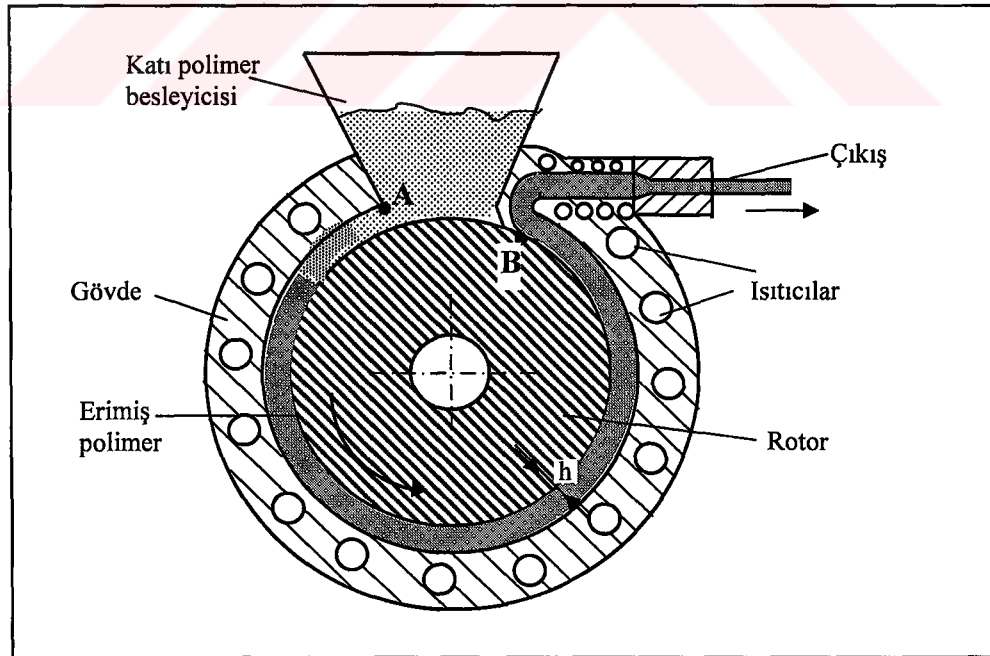
5.3.2. Viskoz-Sürüklenme Ekstrüderleri

Daha önce bahsedilen pozitif yer-değiştirmeli ekstrüderler, malzemenin ekstrüder içerisinde itilmek suretiyle ötelendiği sistemlerdir. Viskoz-sürüklenme ekstrüderleri ise genellikle, polimer eritildikten sonra bir gövde içerisinde çok az bir radyal açıklıkta bulunan rotorun dönmesiyle polimerin rotor-gövde arasında sürüklenerek taşındığı sistemlerdir. Polimer eriyiği rotor ve gövdeye yapışarak film tabakası oluşturur ve radyal açıklıktaki hacimde yer alan polimer akış özelliklerinden dolayı viskoz bir sürüklenmeye maruz kalır. Bu ekstrüderler, mekanik hareketlere duyarlı polimerler için uygun olmaktadır. Bu sistemlerde yüksek basınç değerleri elde edilememektedir. Ekstrüder çıkışından sonra basıncın yükseltilmesi için dişli pompa veya vidalı ekstrüderler kullanılabilir.

Tek vidalı ekstrüderler hem pozitif-yer değiştirmenin, hem de viskoz sürüklenmenin olduğu sistemlerdir. Viskoz sürüklenme ekstrüderleri içerisinde vidalı ekstrüderlere de değinilmektedir.

5.3.2.1. Radyal Eritme ile Viskoz Akış

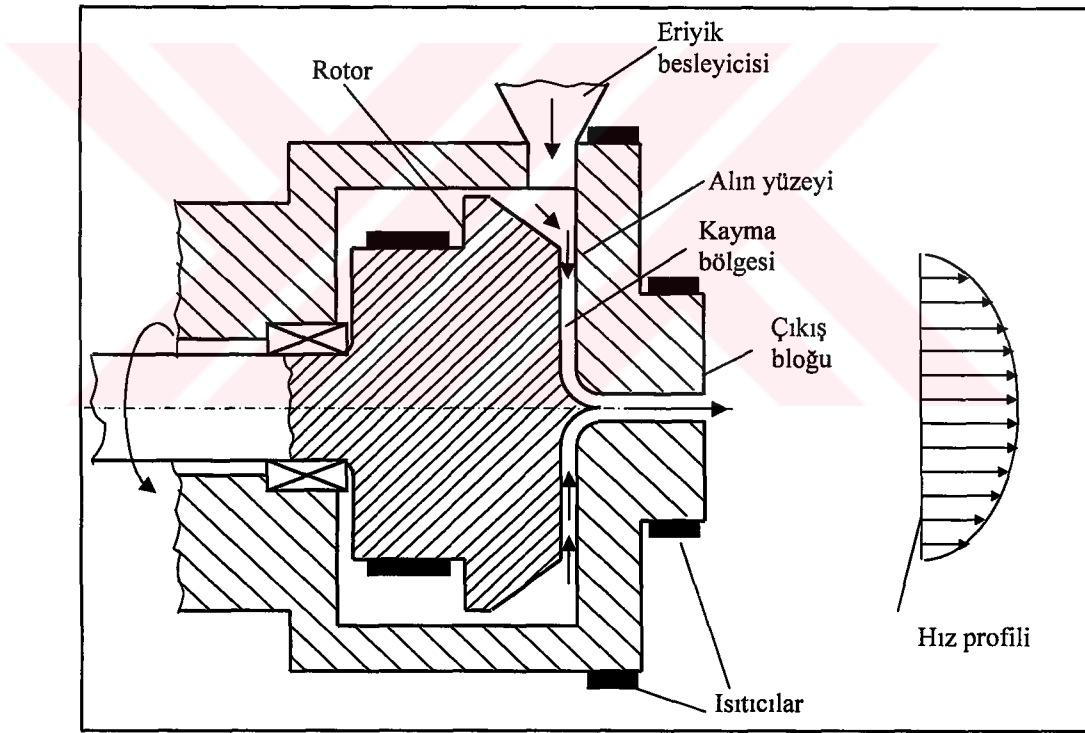
Şekil 5.14.'de polimerin radyal yönde eritilerek viskoz sürüklenme ile taşındığı ve bu şekilde ekstrüzyonun gerçekleştiği bir sistem görülmektedir. Sistemde bir besleyici, silindirik bir gövde, gövde ile aynı eğrilığe sahip bir rotor, ısıtıcı sistemler ve çıkış bölümü yer almaktadır. Rotor ile gövde arasında sabit "h" radyal açıklığı bulunmaktadır. Dişli pompada yer alan dişliler ile taşınan ve basınç oluşturan polimer, burada rotor ve silindire yapışarak film tabakası oluşturur ve radyal açıklık içerisinde sürüklenerek çıkışa sevk edilir. Dolayısıyla basınç, düşük seviyede gerçekleşmektedir. Bu ekstrüderlerin, mekanik hareketlere hassas ve kayma gerilmesi yüksek polimerler için kullanımı uygun olmaktadır. Bu ekstrüder sonrasında basıncın yükseltilmesi için dişli pompalar veya vidalı ekstrüderler kullanılabilir. Şekilde verilen silindirik rotorun silindir yüksekliği yaklaşık olarak rotor çapına eşit olmaktadır.



Şekil 5.14. Viskoz-sürüklenme ekstrüderi şematik gösterimi (rotor-silindir)

5.3.2.2. Kayma Gerilmesi ile Viskoz Sürüklenme Yapan Ekstrüderler

Kayma gerilmesi ile viskoz sürüklenme yapan ekstrüderlerde erimiş polimer üzerine yüksek oranda kayma gerilmesi uygulanarak ekstrüzyon işlemi yapıldığından bu ekstrüderlere **elastik eriyik ekstrüderleri** de denilmektedir. Şekil 5.15.'te görülen elastik eriyik ekstrüderinde eriyik besleme bölgesi, silindirik gövde, gövde içerisinde sabit alın yüzeyi ile çok az bir radyal açıklıkta dönen bir rotor, ısıtıcı elemanlar ve çıkış bölgesi bulunmaktadır. Burada polimer eriyik halinde sisteme beslenmektedir. Polimerin bu şekilde beslenmesi elastik eriyik ekstrüderinin yapısının katı polimeri eritmeye müsait olmayışındandır. Eriyik beslemesi ekstrüderin performansını arttırmaktadır.



Şekil 5.15. Kayma gerilmesi ile viskoz sürüklenme yapan ekstrüder ve hız dağılımı (Levy, S., 1981)

Eriyik, gövde içerisine beslendikten sonra rotor ile çıkış duvarı arasında kayma gerilmesine maruz kalır. Burada oluşan hız profilinin parabolik bir dağılım gösterdiği ve maksimum hızın çıkış bölgesinde olduğu görülmektedir. Rotor ve çıkış duvarı arasında bir film tabakası oluşturan polimere, rotorun dönmesiyle kuvvetin normal bileşeni etki eder. Isıtıcı elemanlar ve kayma gerilmesinden oluşan

sürtünme ısısı ile polimer sıcaklığı daha da arttırılır. Kayma gerilmesi uygulanarak çıkışa sevk edilen polimerin basıncı düşük seviyede olmaktadır. Bu ekstrüder viskoelastik polimerlerin işlenmesi için uygun, kayma gerilmesine karşı hassas polimerler için kullanışsızdır.

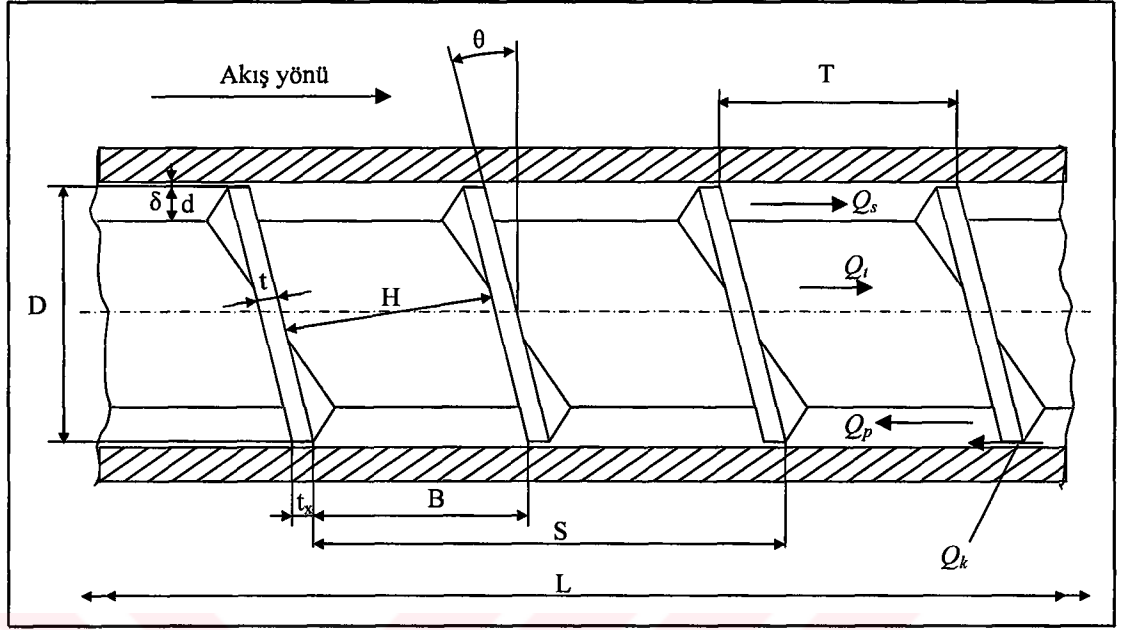


6. EKSTRÜDERDE HİDRODİNAMİK ANALİZ

6.1. Giriş

Ekstrüder performansı önemli ölçüde ekstrüder içerisindeki polimer akışına ve uygulanan ısı işlemlere bağlı olmaktadır. Eriyen polimerin akış özellikleri, mekanik ve hidrodinamik işlemler polimer akışını belirlemektedir. Tez kapsamında tekstil endüstrisinde ve diğer polimer işleme endüstrilerinde en çok kullanılan tek vidalı ekstrüderler için akış analizi oluşturulmaya çalışılmıştır. Isıl işlemler tez kapsamı dışında tutulmuştur. “Tek vidalı ekstrüder” kavramı bu bölümde sadece “Ekstrüder” olarak nitelendirilecektir. Beşinci bölümde gösterilen ekstrüder çeşitlerinin yapıları ve çalışma prensipleri birbirinden farklı olduğundan hepsi için ayrı akış analizlerinin yapılması gerekmektedir.

İncelenen tek vidalı ekstrüderler viskoz sürüklenme ve pozitif yer değiştirmenin bir arada gerçekleştiği makinalardır. Ekstrüder içerisinde sürüklenme akışı (drag flow), basınç akışı, kaçak akışlar ve vida kanalı içerisindeki eriyik havuzu içerisinde oluşan “sirkülasyon akışları” oluşmaktadır. Ekstrüderin hidrodinamik analizinin yapılabilmesi için vida-barel geometrisinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Şekil 6.1.’de tipik bir vida geometrisi görülmektedir. Hidrodinamik analizde ekstrüderin üçüncü kısmı olan basınç bölgesinde sabit kanal derinlikli, sabit adımlı vida ve ekstrüder içerisindeki eriyiğin akış davranışı boyutlu ve boyutsuz çalışmalar yapılarak incelenmiştir.



Şekil 6.1. Tipik bir vidanın geometrisi

Burada,

θ : Helis eğimi

D : Vida çapı

d : vida ucu ile vida diş dibi arası açıklık

δ : Barel ile vida diş ucu arası açıklık

t : Vida diş kalınlığı

H : İki vida arası normal uzaklık

T : Hatve

S : Bir tam vida dönüşünün aksnel olarak izlediği yol

B : İki vida dişinin aksnel uzaklığı

t_x : Bir vida dişinin aksnel uzunluğu

Q_s : Sürüklenme akışı

Q_p : Basınç akışı

Q_k : Kaçak akış

Q_i : Net akış

olarak verilmektedir. Ayrıca vidanın toplam uzunluğu " L ", vida sayısı " z ", vida devir sayısı " n ", debi " Q ", basınç " P " ile gösterilmektedir.

6.2. Eriyik Akış Davranışı

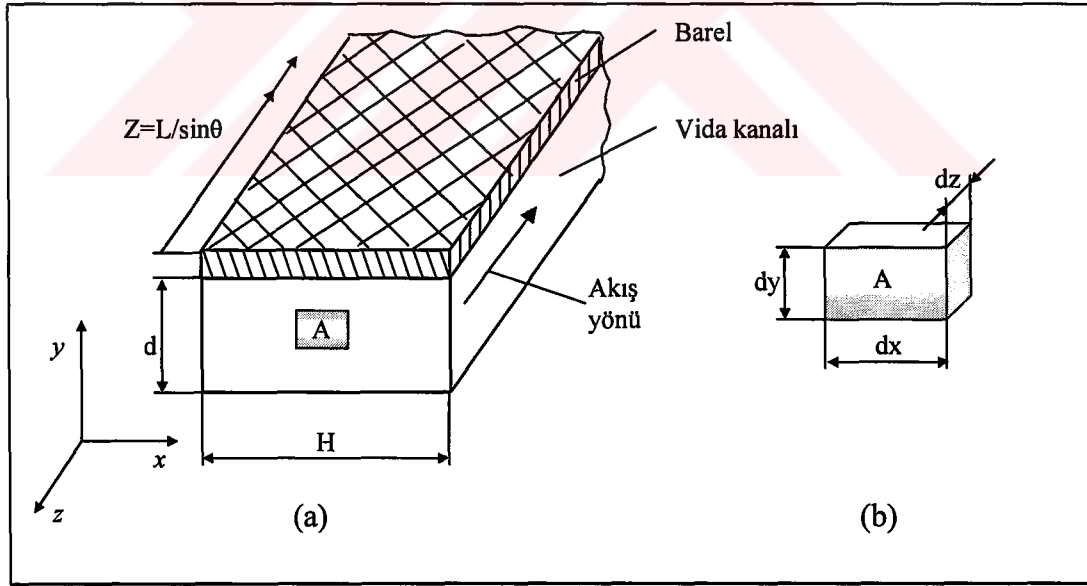
Ekstrüder içerisindeki akış bir çok parametreye bağlıdır ve matematiksel olarak ifade edilmesi güçtür. Akışın teorik olarak incelenmesi için çeşitli kabuller yapmak gerekmektedir. Yapılan kabuller şöyle sıralanabilir:

- Kanal içerisinde akışın daimi olduğu (steady-state) kabul edilir.
- Polimerin homojen akışının sağlandığı kabul edilir (eriyik pompalama durumu için).
- Vida-barel relatif hızı aynı olacak şekilde vidanın sabit, barelin hareketli olduğu kabul edilir.
- Kanal içerisindeki polimerin tamamen eriyik halinde olduğu kabul edilir.
- Kanal derinliğinin barrel çapına oranla çok küçük olduğu kabul edilir.
- Polimerin ekstrüzyon bareline yapıştığı kabul edilir.
- Helisel silindirin aynı boyutlarda düz bir silindir gibi olduğu kabul edilir. (eğrilik ihmal edilir).
- Eriyiğin akışı Newtonumsudur. Yani kayma gerilmesi (τ), viskozite (η) ve kayma oranı ($\frac{dU}{dy}$) 'na bağlıdır.
- Kanal derinliği sabittir.
- Akışkan kaçaklarının ve sızıntısının sıfır olduğu kabul edilir. (Kaçak-sızıntı akış ayrıca incelenecektir).
- Akışkan izotermaldir.
- Yerçekimi ihmal edilir.
- Ekstrüder helis açısı (θ) genelde 17.40° olarak alınmaktadır. Bu analizde de bu değer kabul edilmiştir.

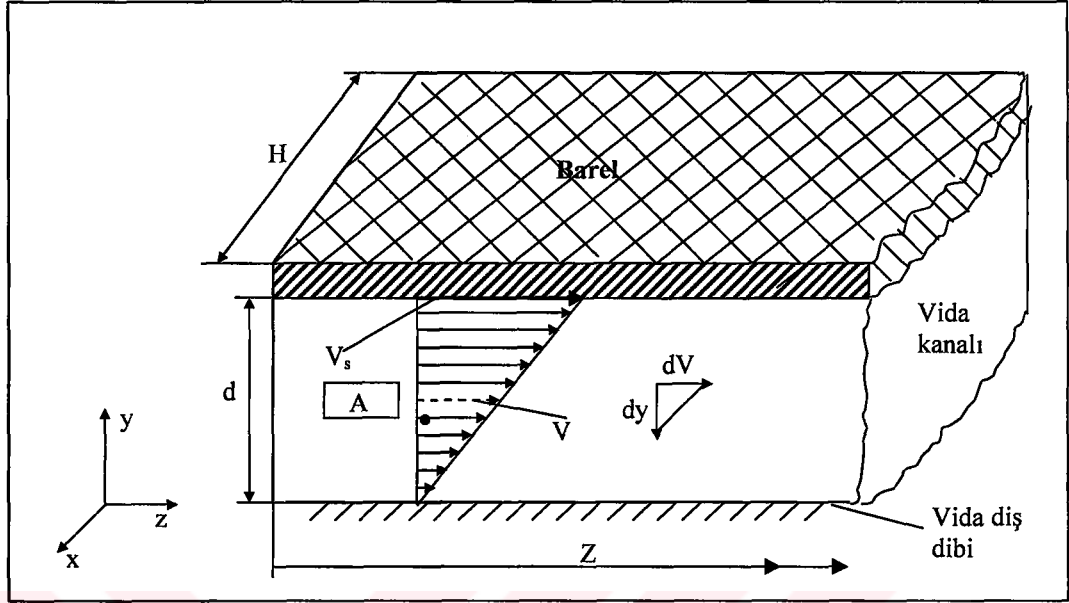
Ekstrüder içerisinde sürüklenme akışı, basınç akışı ve sızıntı (kaçak) akışlarının olduğu bilinmektedir. Sürüklenme akışı vida hareketi yönünde, basınç akışı ise vida hareketine ters olmaktadır. Sızıntı (kaçak) akış ise vida ucu ile barrel arasındaki radyal açıklıkta, eriyiğin bir kanaldan önceki kanala sızmasıdır. Kaçak akışlar teorik incelemede ihmal edilse de ayrı olarak incelenecektir.

6.2.1. Sürükleme Akışı

Polimer eriyiğinin vida tarafından ötelenmesi ile eriyik sürüklenerek (drag flow) taşınır. Vida kanalı içerisinde oluşan sürükleme akışının incelenmesi için vida kanalının heliselliği açılarak doğrusal bir hacimde analiz yapılmaktadır. Yani yukarıda bahsi geçen kabullere ek olarak, iki vida dişi arasında kalan boşluk sarmal yapı olarak değil doğrusal yapı olacak şekilde incelenir. Yani sarmal vida kanalı içerisinde incelenen eriyik, kanalın helisinin açılarak dikdörtgenler prizması haline getirilmesi ile bu kanal içerisinde incelenecektir. Şekil 6.2.'de bir vida kanalı içerisinde hareketi incelenen bir parçacık ve bu parçacığa ait boyutlar verilmektedir. Parçacık, z- yönünde hareket etmektedir ve helisi açılmış kanalın uzunluğu Z olarak gösterilmiştir. H, kanal uzunluğu ve d, kanal derinliğidir. Şekil 6.3.'te ise Şekil 6.2.'de görülen kanal çevrilerek sürükleme akışının oluşumu gösterilmiştir. Burada vidanın sabit, barelin hareketli olduğu kabulü yapılmış ve parçacık hızının barel yüzeyinde V_s maksimum sürükleme hızına ulaştığı kabul edilmiştir.



Şekil 6.2. Vida kanalının doğrusal hali ve kanal içerisinde incelenen parçacık



Şekil 6.3. Vida kanalı içerisinde oluşan sürüklenme akışının hız dağılımı

Vidanın sabit, barelin hareketli olduğu kabulü ile A parçacığının hareketi incelendiğinde debi,

$$dQ = V dy dx \quad (6.1)$$

olmaktadır. Hız gradyeninin lineer olduğu kabulü ile ($\frac{dV}{dy} \cong \frac{V}{y}$),

$$\frac{V}{y} = \frac{V_s}{d}$$

$$V = V_s \frac{y}{d} \quad (6.2)$$

olmaktadır. Buradan debi değişimi,

$$dQ = V_s \frac{y}{d} dy dx \quad (6.3)$$

bulunur. Bu ifadenin, x ve y eksenlerinin sınır değerleri olan d ve H noktalarına kadar integrali alındığında sürüklenme debisi,

$$Q_s = \int_0^d \int_0^H V_s \frac{y}{d} dy dx$$

$$Q_s = \frac{V_s d H}{2} \quad (6.4)$$

olarak bulunur. Buradan debinin sürüklenme hızı ve vida geometrik büyüklükleri olan d ve H ile doğru orantılı olduğu görülür.

n vida hızı (dev/dak) olmak üzere, vida çapı (D)'ye bağlı olan sürüklenme hız ifadesi,

$$V_s = \frac{\pi D n \cos \theta}{60} \quad (6.5)$$

olmaktadır. Bu ifade (6.4) içerisinde değerlendirilerek sürüklenme debisi,

$$Q_s = \frac{\pi D n d H \cos \theta}{120} \quad (6.6)$$

olarak elde edilebilir

Şekil 6.1.'de gösterilen hatve:

$$T = \pi D \tan \theta \quad (6.7)$$

şeklinde yazılabilir. H ise buradan,

$$H = (\pi D \tan \theta - t) \cos \theta$$

olmaktadır. t , T 'ye oranla çok küçük olduğundan ihmal edilebilmektedir. V_s ve H (6.4) içerisinde değerlendirildiğinde sürüklenme debisi,

$$Q_s = \frac{1}{120} d (\pi D \tan \theta) (\pi D n \cos \theta) \cos \theta$$

veya

$$Q_s = \frac{1}{120} \pi^2 D^2 d n \sin \theta \cos \theta \quad (6.8)$$

olarak bulunur. Ayrıca bu ifade

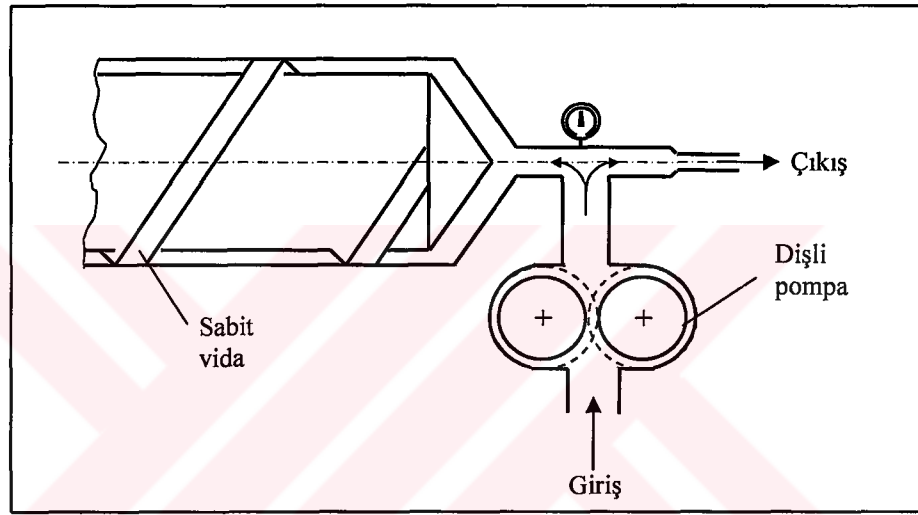
$$Q_s = \frac{1}{240} \pi^2 D^2 d n \sin 2\theta \quad (6.9)$$

şeklinde de elde edilebilmektedir.

6.2.2. Basınç Akışı

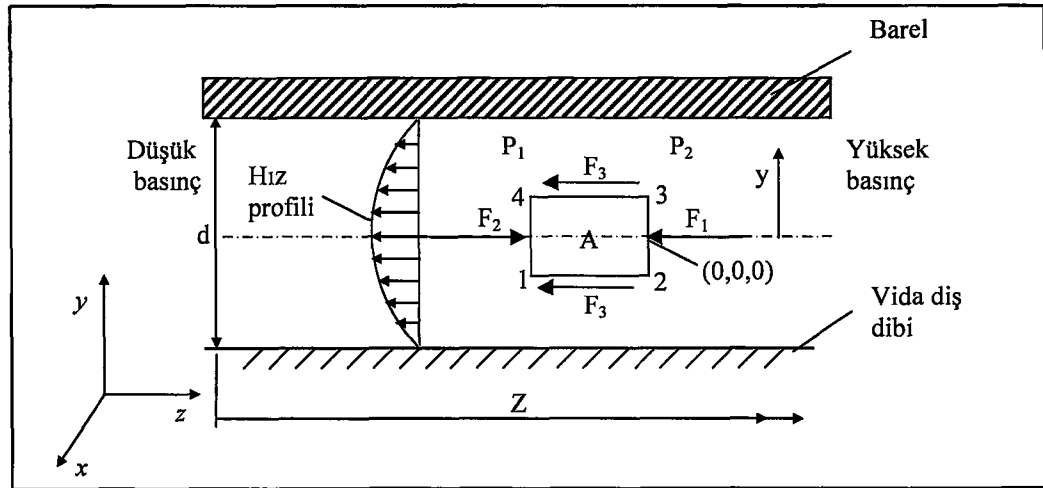
Ekstrüder içerisinde oluşan yüksek basınçtan kaynaklanan bir akış durumu söz konusu olmaktadır. Bu akış net akışa ters yönde olmaktadır. Basınç akışının oluşumunun anlaşılabilmesi için Şekil 6.4.'te görülen sabit (dönmeyen) bir vida ve bu vida sonuna eklenen bir dişli pompa konulmuştur. Vida sabit olduğundan bir sürüklenme akışı oluşmaz. Dişli pompanın çalışmasıyla basınçtan kaynaklanan bir

akış oluşur. Dişli pompa içerisinde geçen eriyik basınç kazandırılarak vidaya ve çıkışa aynı basınç değerlerinde sevk edilir. Dolayısıyla sanki ekstrüderin çalışmasıyla bir basınç elde edilmiş gibi çıkışa eriyik gönderilirken, ekstrüder içerisinde de basınç oluştuğu gözlenmektedir. Dolayısıyla bu basınçtan kaynaklanan bir akış vardır ve bu akış, eriyik akışına ters yönlüdür. Aynı sıcaklık ve viskozitede basınç sabit oldukça akış ta sabit olacaktır.



Şekil 6.4. Basınç akışı (Stevens M.J., Covas, J.A.,1995)

Basınç akışının incelenmesi için Şekil 6.2.'de gösterilen parçacığa etkiyen kuvvetlerin ve kayma gerilmelerinin incelenmesi gerekmektedir. Şekil 6.5.'te A parçacığına etkiyen kuvvetler gösterilmektedir.



Şekil 6.5. A parçacığına etkiyen kuvvetler

Şekilde,

F_1 : basınç farkından kaynaklanan kuvvet

F_2 : kanal içerisindeki basınçtan kaynaklanan kuvvet,

F_3 : kayma kuvveti

$$P_2 - P_1 = \Delta P$$

ve τ kayma gerilmesi olmak üzere,

$$dF_1 = \left(P + \frac{\partial P}{\partial z} \right) dy \, dx$$

$$dF_2 = P \, dy \, dx$$

$$dF_3 = d\tau \, dz \, dx$$

olmaktadır. Bu kuvvetlerin dengede olması gerektiğinden,

$$dF_1 = dF_2 + 2dF_3 \quad (6.10)$$

$$\left(P + \frac{\partial P}{\partial z} \right) dy \, dx = P \, dy \, dx + 2d\tau \, dz \, dx \quad (6.11)$$

$$d\tau = \frac{1}{2} \frac{dP}{dz} dy \quad (6.12)$$

olmaktadır. Şekil 6.5.'te parçacığın 2 (0,-y,0) noktasından, 3 (0,y,0) noktasına kadar oluşan kayma gerilmesi τ_y ,

$$\int_0^{\tau_y} d\tau = \int_{-y}^y \frac{1}{2} \frac{dP}{dz} dy$$

$$\tau_y = y \frac{dP}{dz} \quad (6.13)$$

olmaktadır. Ekstrüder içerisindeki akış normalde **psedoplastiktir** yani viskozite zamanın bir fonksiyonu olup zamanla viskozite değişmektedir. Ancak teorik incelemede akışkan Newtonumsu olarak kabul edilmektedir. Burada kayma gerilmesi (τ) zamanın değil, kayma oranı ($\dot{\gamma}$) ve viskozite (η) 'nin bir fonksiyonu olmaktadır. Kayma gerilmesi ise,

$$\tau_y = \eta \dot{\gamma} = \eta \frac{dV}{dy} \quad (6.14)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

(6.14), (6.13) içerisinde değerlendirilerek sınır şartlarında integrali alındığında, basınçtan kaynaklanan hız,

$$\int_0^V dV = \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dz} \int_{d/2}^y y dy$$

$$V_p = \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dz} \left(\frac{y^2}{2} - \frac{d^2}{8} \right) \quad (6.15)$$

şeklinde bulunur. Debi (Q) ise,

$$dQ = V_p H dy \quad (6.16)$$

olmaktadır. Basınç akışından kaynaklanan debi (Q_p) ise (6.15)'in (6.16) içinde değerlendirilip integrali alınarak bulunabilir.

$$Q_p = 2 \int_0^{d/2} \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dz} H \left(\frac{y^2}{2} - \frac{d^2}{8} \right) dy$$

$$Q_p = \frac{1}{12\eta} \frac{dP}{dz} H d^3 \quad (6.17)$$

olmaktadır. Elde edilen debi değeri Şekil 6.5.'teki F_2 kuvveti yönündedir. Eriyik akışı bu kuvvetin yönüne ters olduğundan basınç akışının net akışa ters yönlü olduğunu göstermek için (6.12) ifadesinin önüne (-) işareti konularak debi ifadesi,

$$Q_p = -\frac{1}{12\eta} \frac{dP}{dz} H d^3 \quad (6.18)$$

şeklinde elde edilir. Buradan basınç artışının sabit olduğu kabulüyle, $\frac{\partial P}{\partial z} \cong \frac{P}{Z}$ alınarak

$$Q_p = -\frac{1}{12\eta} H d^3 \frac{P}{Z} \quad (6.19)$$

6.2.3. Net Akış

Q_k kaçak akış olmak üzere ekstrüder içerisindeki net akış (Q_t),

$$Q_t = Q_s - Q_p - Q_k \quad (6.20)$$

olarak yazılabilir. Kaçak (sızıntı) akış (Q_k) net akış için incelenirken ihmal edildiğinden, (6.4) ve (6.18) denklemlerinin (6.20) içerisinde değerlendirilmesiyle,

$$Q_t = Q_s - Q_p = \frac{V_s d H}{2} - \frac{H d^3}{12\eta} \frac{dP}{dz} \quad (6.21)$$

halini almaktadır. İfade sadeleştirilecek olursa,

$$Q_t = \frac{V_s d H}{2} - \frac{H d^3}{12\eta} \frac{dP}{dz} \frac{V_s}{V_s}$$

$$Q_t = V_s d H \left(\frac{1}{2} - \frac{d^2}{12\eta V_s} \frac{dP}{dz} \right) \quad (6.22)$$

halini almaktadır. Buradan

$$\frac{Q_t}{V_s d H} = \frac{1}{2} - \frac{d^2}{12\eta V_s} \frac{dP}{dz} \quad (6.23)$$

olarak elde edilir. $\bar{Q}_t$ boyutsuz net akış değeri olmak üzere

$$\bar{Q}_t = \frac{Q_t}{V_s d H} \quad (6.24)$$

olup tek vidalı ekstrüderler için akış analizi yapılmasında önemli bir ifade olmaktadır.

(6.21) eşitliği kullanılarak, sürüklenme ve basınç akışlarının birbirine oranı,

$$\frac{Q_p}{Q_s} = \frac{-(Q_t - Q_s)}{Q_s}$$

şeklinde yazılabilir. Buradan,

$$\frac{Q_p}{Q_s} = 1 - \frac{Q_t}{Q_s} \quad (6.25)$$

olarak elde edilir ve (6.4) eşitliği kullanılarak,

$$\frac{Q_p}{Q_s} = 1 - \frac{2 Q_t}{V_s d H}$$

eşitliği bulunur. Buradan yukarıdaki ifade,

$$\bar{Q}_t = \frac{Q_t}{V_s d H} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q_p}{Q_s} \right) \quad (6.26)$$

şeklinde gösterilebilir.

(6.21) eşitliğinde Q_t 'nin, **süreklilikten** dolayı, ekstrüder boyunca sabit olması gerektiğinden, sabit vida kanal derinliği d ve sabit vida adımı H için,

$$\frac{dP}{dz} = \text{sabit} = \frac{P}{Z} \quad (6.27)$$

alınabilir.

Basıncın üniform olduğu sabit kanal derinlikli bir vida için (6.21) eşitliği,

$$Q_t = \frac{V_s d H}{2} - \frac{H d^3}{12\eta} \frac{P}{Z} \quad (6.28)$$

olarak yazılabilir. Burada “ Z ”, helisi açılarak doğrusal hale getirilmiş vida kanalının uzunluğu olmaktadır. P ise, bu uzunluk boyunca oluşan maksimum basınç değeridir.

(6.26) denkleminde,

$$0 < \frac{Q_p}{Q_s} < 1 \quad \text{iken} \quad 0 < \frac{Q_t}{V_s d H} < \frac{1}{2}$$

ve

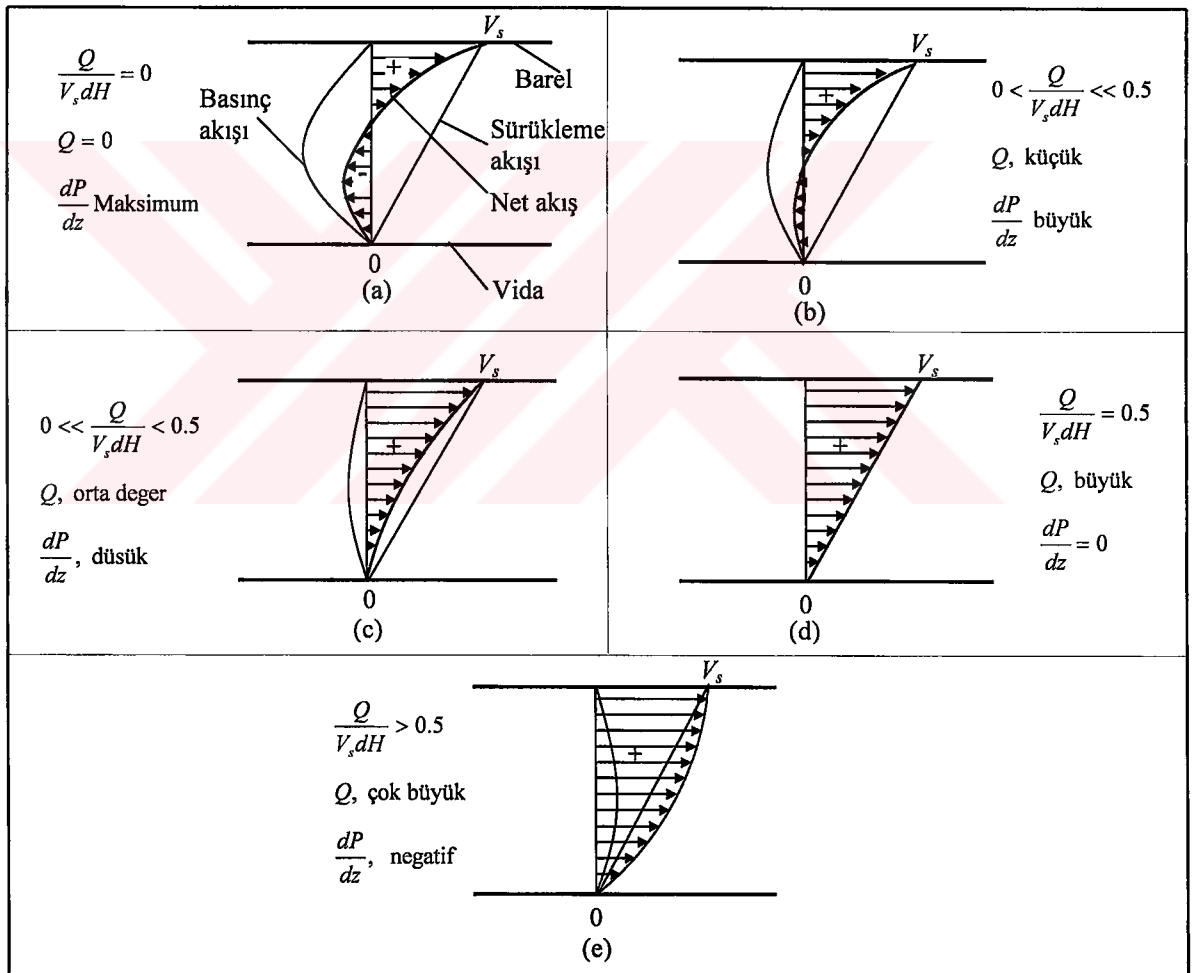
$$-1 < \frac{Q_p}{Q_s} < 0 \quad \text{iken} \quad \frac{1}{2} < \frac{Q_t}{V_s d H} < 1$$

olmaktadır.

Şekil 6.6.’da (6.24) eşitliğindeki $\bar{Q}_t$ boyutsuz ifadesinin aldığı değişik değerlerde, ekstrüder içindeki sürüklenme akışı, basınç akışı ve net akış toplu halde görülmektedir. Şekil 6.6.’da barel ve vida arasındaki hız vektörleri net akışı göstermekte olup, sürüklenme akışı ve basınç akışı alanlarının farkı alınarak bulunmuşlardır.

Şekil 6.6.(a)’da $\frac{Q}{V_s d H} = 0$ olduğundan, basınç akışı vektörlerinin alanı sürüklenme akışı vektörlerinin alanına eşit olur. Yani basınç ve sürüklenme akışları birbirine eşit olur ve $Q_t = 0$ olup net akış olmamaktadır. Burada vida kanalı içerisinde bir sirkülasyon oluşmaktadır. (b) şeklinde $0 < \frac{Q}{V_s d H} < 0.5$ olduğundan basınç gradyeni maksimum olmasa da büyük bir değer alır ve net akış Q_t küçük bir

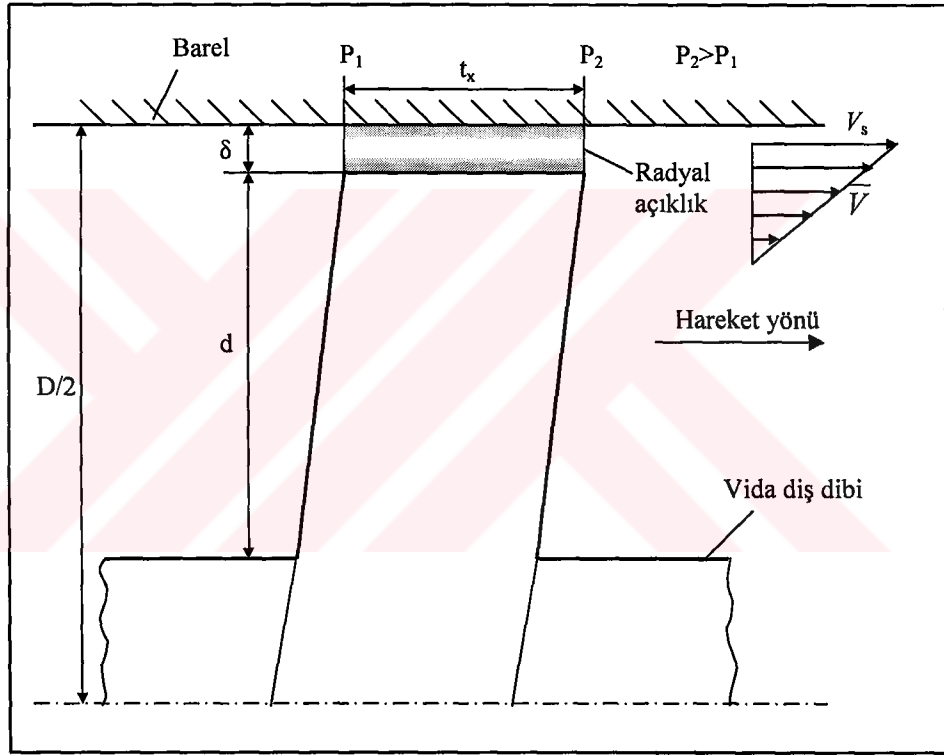
değer almaktadır. (c) şeklinde $\frac{Q}{V_s dH}$, 0.5'e yakın olduğundan basınç gradyeni küçük bir değer alır ve net akış Q_t artmaya başlar. (d) şeklinde $\frac{Q}{V_s dH} = 0.5$ olduğundan net akış Q_t sürüklenme akışına eşit olur ve bu durumda basınçtan kaynaklanan bir akış oluşmamaktadır. (e) şeklinde ise $\frac{Q}{V_s dH} > 0.5$ olduğundan basınç gradyeni negatif değer alır ve pozitif yönde bir basınç akışı oluşur. Bu durumda net akış Q_t sürüklenme akışından daha büyük değer almaktadır.



Şekil 6.6. Farklı basınç gradyenlerinde net akış (Stevens, M.J., Covas, J.A.,1995)

6.2.4. Kaçak (Sızıntı) Akış

Kaçak akış, vida ucu ve barel arasındaki radyal açıklıkta meydana gelen sürüklenme ve basınç akışları ile oluşur. Eriyik, bir kanaldan, bir önceki kanala sızarak besleme bölgesine doğru akışkan kaçağı oluşturmaktadır. Kaçak akış vida dişi ve barel arasında kalan küçük hacimde oluşur. Yukarıda bahsedilen sürüklenme ve basınç akışları için uygulanan işlemler kaçak akış için bu küçük hacimde incelenebilmektedir. Şekil 6.7.'de radyal açıklıkta incelenen kanal ve boyutları verilmektedir.



Şekil 6.7. Barel ile vida ucu arasındaki kanal

a) Sürüklenme ile oluşan kaçak

Barelin hareketli, vidanın sabit olduğu kabulüyle barelin vidaya göre hızı,

$$V_s = \frac{\pi D n}{60} \sin \theta \quad (6.29)$$

olarak bulunur. Sürüklemenden kaynaklanan akış bir vida dönüşünde incelenmektedir. z, vida diş sayısı olmak üzere bir vida dönüşünün heliselliğinin açılmasıyla elde edilen uzunluk,

$$\frac{Z}{z} = \frac{\pi D}{\cos \theta} \quad (6.30)$$

Sürüklenme akış profili üçgen şeklindedir. Bir vida dönüşünde oluşan sürüklenme akışı incelenirken ortalama sürüklenme hızı alınabilir. Ortalama sürüklenme hızı ise $V_{barel} / 2$ olmaktadır Buradan, sürüklenmeden kaynaklanan kaçak akış,

$$Q_{ks} = \frac{V_s}{2} \delta \frac{\pi D}{\cos \theta} \quad (6.31)$$

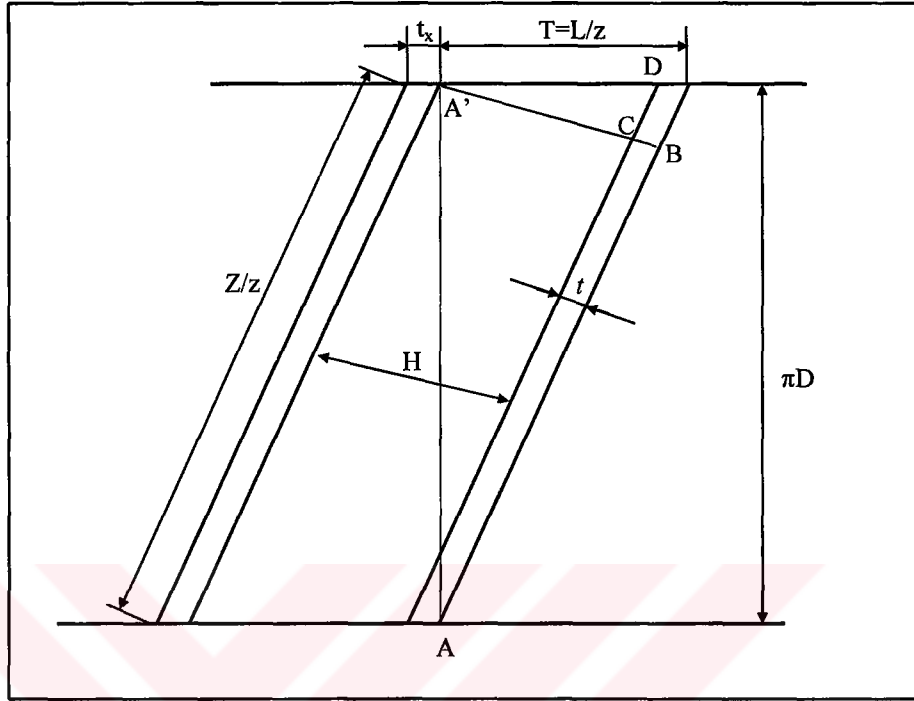
(6.29) yukarıdaki denklemde değerlendirilerek vidanın bir dönüşünde oluşan kaçak,

$$Q_{ks} = \frac{\pi^2 D^2 n \delta \tan \theta}{120} \quad (6.32)$$

olarak elde edilmektedir.

b) Basınçtan kaynaklanan kaçak

Ekstrüder içerisinde oluşan yüksek basıncın bir akışa sebep olduğu ve bu akışın net akış yönüne ters olduğu yukarıda verilmektedir. Basınç akışı, ekstrüder vidası-barel arasındaki radyal açıklıkta polimerin bir önceki kanala sızarak akışkan kaçağı oluşmasını sağlamaktadır. Şekil 6.8.'de kaçak basınç akışının daha iyi anlaşılabilmesi için, bir vidanın tam dönüşü ile izlediği yol ve vida ucu geometrisi gösterilmektedir. Şekilde A ve A' aynı vida noktasını belirtmektedir. Buradan, bir vida dişinin bir tam dönüşünde süpürdüğü yüzey (A-D uzunluğunda) incelenerek kaçak basınç akışı Q_{kp} bulunabilir. Basınçtan kaynaklanan akışkan kaçağının incelenmesinde δ derinliği, t_x eni, ve Z/z boyundaki bir kanalda oluşan basınç akışı incelenebilir. Şekilde B ve C noktaları bir vida dişinin yan yüzeyleri olup bu iki nokta arasındaki basınç farkı P_{BC} olarak gösterilmektedir.



Şekil 6.8. Vidanın bir dönüşünün açılmış hali ve geometrik büyüklükleri

Şekil 6.8.'deki B ve A noktaları arasında oluşan basınç farkı P_{BA} olmak üzere

$$P_{BA} = (\pi D \cos \theta) \frac{dP}{dz}$$

olarak değerlendirilir. A ve A' vidanın aynı noktalarını göstermektedir. Buradan $P_{BA} = P_{BA'}$ olduğu görülür. İki vida dişi arasındaki basınç farkı P_{BC} ise $P_{BA'}$ ile aynı doğrultuda olduğundan,

$$P_{BC} = (\pi D \cos \theta) \frac{dP}{dz} \quad (6.33)$$

olarak değerlendirilir. Ekstrüder çıkışına doğru basınç arttığından, basınç akışı geriye doğru olmaktadır. (6.19) denklemi içerisinde d yerine δ yazıldığında vidanın bir devri için oluşan kaçak basınç akışı,

$$Q_{kp} = -\frac{1}{12\eta} \frac{P_{BC}}{t \cos \theta} \frac{\pi D}{\cos \theta} \delta^3 \quad (6.34)$$

olarak bulunur. (6.33) denklemi (6.34)'te değerlendirildiğinde vida boyunca birbirini izleyen vida dişleri arasında oluşan basınç akışları

$$Q_{kp} = -\frac{1}{12\eta} \frac{\pi^2 D^2 \delta^3}{t \cos \theta} \frac{dP}{dz}$$

olarak değerlendirilmektedir. Buradan $\frac{dP}{dz} \cong \frac{P}{Z}$ alınabileceğinden toplam basınç akışı

$$Q_{kp} = -\frac{1}{12\eta} \frac{\pi^2 D^2 \delta^3}{t \cos \theta} \frac{P}{Z} \quad (6.35)$$

şeklinde bulunmaktadır. Burada P maksimum basınç değeri, Z ise helisi açılmış kanal uzunluğu olmaktadır.

c) Net Kaçak Akış

Barel yüzeyine yapışarak hareket eden polimer sürüklenme hareketine maruz kalmaktadır ve iki vida ucu arasında ekstrüder çıkışına doğru hareket etmektedir. Basınçtan kaynaklanan akış ise eriyiğin bir kanaldan önceki kanala geçişini sağlamaktadır. Dolayısıyla basınçlı geri akış (-) işaretlidir.

(6.32) ve (6.35) toplanarak net kaçak akış (Q_k) bulunabilir.

$$Q_k = Q_{ks} - Q_{kp} \quad (6.36)$$

$$Q_k = \frac{\pi^2 D^2 n \delta \tan \theta}{120} - \frac{1}{12\eta} \frac{\pi^2 D^2 \delta^3}{t \cos^2 \theta} \frac{P}{Z} \quad (6.37)$$

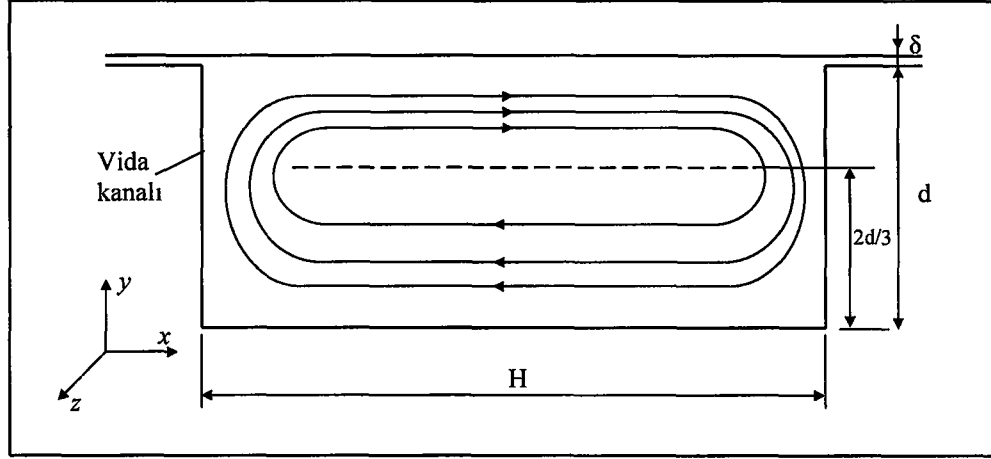
bu ifade sadeleştirilerek net kaçak akış

$$Q_k = \pi^2 D^2 \tan \theta \left(\frac{n \delta}{120} - \frac{1}{12\eta} \frac{\delta^3}{t \cos \theta} \frac{P}{Z} \right) \quad (6.38)$$

olarak bulunmaktadır.

6.2.5. Sirkülasyon Akışı

Vida kanalı içerisinde, vidanın dönme ve öteleme hareketi ile eriyiğin sirkülasyon yaptığı görülmektedir. Bu durum, daha önceki bölümlerde vida kanalı içerisinde “eriyik havuzu” olarak adlandırılan bölgede oluşan akışa benzer davranış göstermektedir. Sirkülasyonun kanal içerisinde oluşturduğu akış, Şekil 6.2. ve Şekil 6.3.’te gösterilen kanalların x- yönündedir. Yani sirkülasyonun yönü kanala çapraz olmaktadır. Şekil 6.9.’da bir vida kanalında oluşan sirkülasyon akışı akım çizgileri verilmektedir.



Şekil 6.9. Kanal içerisinde oluşan sirkülasyon akışı

Navier-Stokes denkleminde daha önceki kabuller ile herhangi bir noktadaki basınç ve hız için

$$\eta \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \eta \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} - \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \quad (6.39)$$

denklemini elde edilmektedir. U_s , kanal içerisindeki polimerin x - yönündeki maksimum hızı (maksimum sirkülasyon hızı) olmak üzere

$$U_s = \frac{\pi D n}{60} \sin \theta \quad (6.40)$$

olup bu hız net akışın olduğu z - ekseninden bağımsız olmaktadır. Şekil 6.6.'da gösterilen kanal boyunca oluşan hız profilinin de z - yönünden bağımsız olduğu

görüldüğünden, $\frac{\partial U}{\partial z} = 0$ olur, aynı zamanda $\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0$ olduğundan (6.39) eşitliği,

$$\eta \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = \frac{\partial P}{\partial x} \quad (6.41)$$

halini alır. Akışkanın Newtonumsu ve izotermal olduğu kabul edildiğinden,

$$\partial^2 U = \frac{1}{\eta} \frac{\partial P}{\partial x} \partial y^2 \quad (6.42)$$

ifadesinin integrali alındığında hız değerleri,

$$U = \frac{1}{2\eta} \frac{\partial P}{\partial x} y^2 + Cy + D \quad (6.43)$$

olmaktadır. Sınır şartları $y = 0$ iken $U = 0$ ve $y = d$ iken $U = U_s$ değerlendirilerek,

$$D=0$$

ve

$$C = \frac{U_s}{D} - \frac{1}{2\eta} \frac{\partial P}{\partial x} d \quad (6.44)$$

bulunur. C ve D sabitlerinin (6.43) denkleminde değerlendirilmesiyle hız eşitliği,

$$U = \frac{U_s y}{d} + \frac{1}{2\eta} \frac{\partial P}{\partial x} (y^2 - yd) \quad (6.45)$$

elde edilir. Toplam sirkülasyon akışı (Q_f) ise,

$$Q_f = \int_0^d U z dy = \left[\frac{U_s z}{d} + \frac{zy^2}{2} + \frac{z}{2\eta} \frac{\partial P}{\partial x} \left(\frac{y^3}{3} - \frac{y^2 d}{2} \right) \right]_0^d$$

$$Q_f = \frac{U_s z d}{2} - \frac{z d^3}{12\eta} \frac{\partial P}{\partial x} \quad (6.46)$$

olarak elde edilir. Elde edilen bu değer kanal içerisinde herhangi bir noktadaki sirkülasyon akışını vermektedir. Kanal içerisinde bir polimer parçacığının x-yönündeki hareketi incelendiğinde, dairesel sayılabilecek bir yol izlediği ve Şekil 6.9.'dan da görüleceği gibi akım çizgilerinin bir dönüş sonucunda hareketin başlangıç noktasına geldiği görülmektedir. Eriyiğin bir kanaldan diğerine sızması olarak değerlendirilen kaçak akış sonucunda bir kanal içerisinde Şekil 6.9.'daki akım çizgilerinin şekli değişeceğinden kaçak akış ihmal edilir. Kaçak akışın ihmal edilmesiyle kanal içerisindeki toplam sirkülasyon akışı $Q_f=0$ olmaktadır. Buradan,

$$\frac{U_s z d}{2} - \frac{z d^3}{12\eta} \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \quad (6.47)$$

ise

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{6\eta U_s}{d^2} \quad (6.48)$$

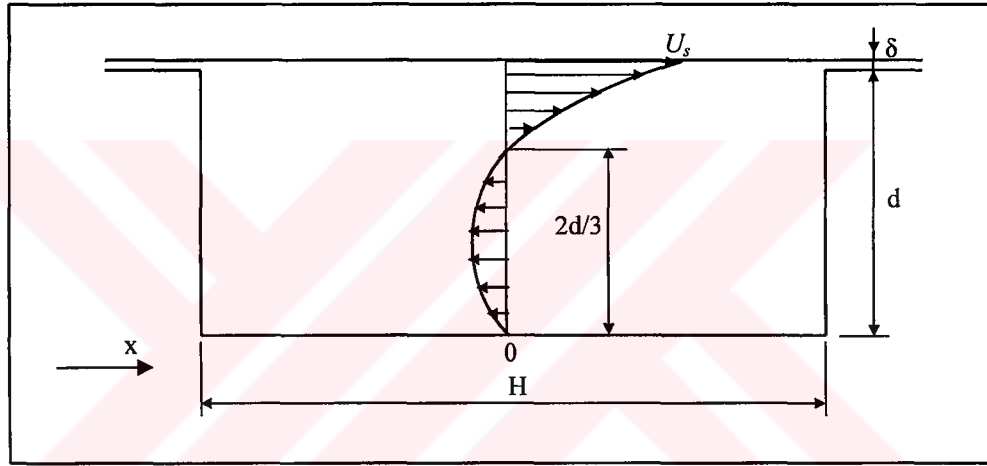
şeklinde elde edilmektedir. Bu ifade,

$$\frac{3U_s}{d^2} = \frac{1}{2\eta} \frac{\partial P}{\partial x} \quad (6.49)$$

olarak ta gösterilebilir. Bu ifadenin basınçtan bağımsız hale getirilebilmesi için (6.48) eşitliği, (6.47) içerisinde değerlendirildiğinde,

$$U = \frac{U_s y}{d} \left(\frac{3y}{d} - 2 \right) \quad (6.50)$$

halini alır ve bu ifade basınç gradyeninden bağımsız olarak herhangi bir noktadaki sirkülasyon hızını vermektedir. Bu ifade incelendiğinde, $y=0$ ve $y=2d/3$ noktalarında sirkülasyon hızı $U=0$ olduğu görülmektedir. Şekil 6.10.'da, Şekil 6.9.'da verilen sirkülasyon akışı akım çizgilerinin oluşturduğu hız profili (U) verilmektedir. Buradan da görüldüğü gibi $y=0$ ve $y=2d/3$ noktalarında sirkülasyon olmamaktadır. Sirkülasyon akışı incelenirken kaçak akış ihmal edildiğinden δ radyal açıklığı ihmal edilip vida dibi ile barrel arası açıklık d olarak alınmaktadır.



Şekil 6.10. Kanal içerisinde oluşan sirkülasyon akışı hız vektörleri

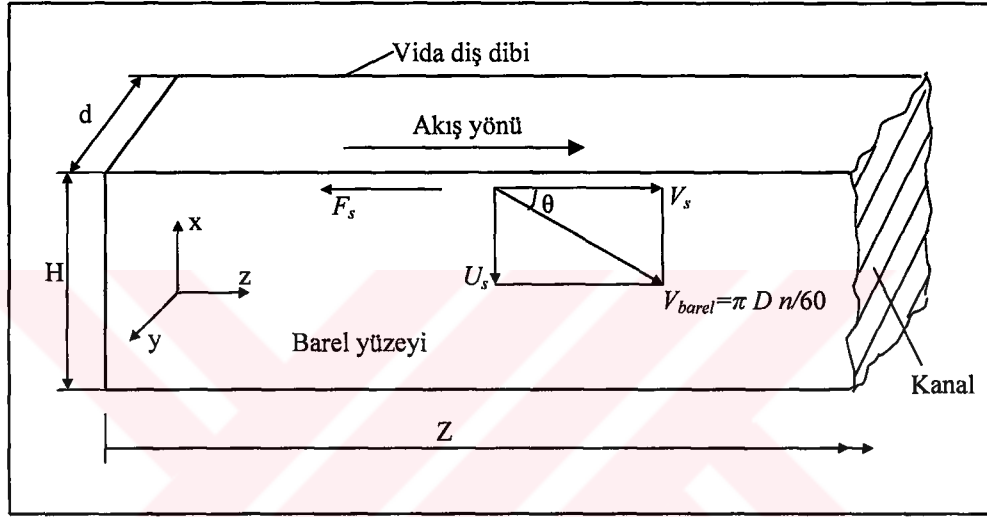
Net akış, ötelenmenin olduğu z- yönünde gerçekleşirken sirkülasyon akışı dönme hareketinin olduğu x- yönünde olmaktadır. Dolayısıyla sirkülasyon akışının net akışa etkisinin olmadığı kabul edilmektedir.

6.3. Ekstrüderde Viskoz Kayıp Güç

6.3.1. Kanal İçerisinde Oluşan Viskoz Kayıp Güç

Ekstrüder vidasına uygulanan güç eriyiğin ötelenmesini, sıkıştırılmasını, ve kayma gerilmesine maruz kalmasını sağlamaktadır. Polimerin harekete direnç gücü barrel yüzeyindeki polimere etki eden kayma gerilmesi ile hesaplanabilmektedir. Kayma gerilmesi ise barrel yüzeyinde oluşan sürtünme kuvvetine (F_s) ve barrel yüzeyindeki taranan alana (A) bağlıdır. Şekil 6.11.'de barrel yüzeyinde oluşan

polimer hız bileşenleri görülmektedir. Şekilde barel yüzeyi ön düzlemde yer almakta olup sirkülasyon ve sürüklenme akışları görülmektedir. Barel yüzeyinde basınç akışı oluşmadığından şekilde gösterilmemiştir. Maksimum sürüklenme akışının (V_s) z- yönünde ve maksimum sirkülasyon akışının (U_s) x- yönünde olduğu görülmektedir. Polimerin barel yüzeyindeki hızı ise V_{barel} olarak gösterilmiş olup. Sürüklenme ve sirkülasyon hızlarının vektörel toplamı olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 6.11. Barel yüzeyinde oluşan hız vektörü

N_{sl} , kanal içerisindeki polimere etkileyen viskoz sürtünme gücü ve F_s barel yüzeyindeki kayma kuvveti olmak üzere birim güç,

$$dN_{sl} = V_{barel} * dF_s \quad (6.51)$$

olmaktadır. Şekil 6.11.'den

$$V_{barel} = \frac{\pi D n}{60} \quad (6.52)$$

olduğu görülmektedir. Birim sürtünme kuvveti F_s ise

$$dF_s = \tau dA \quad (6.53)$$

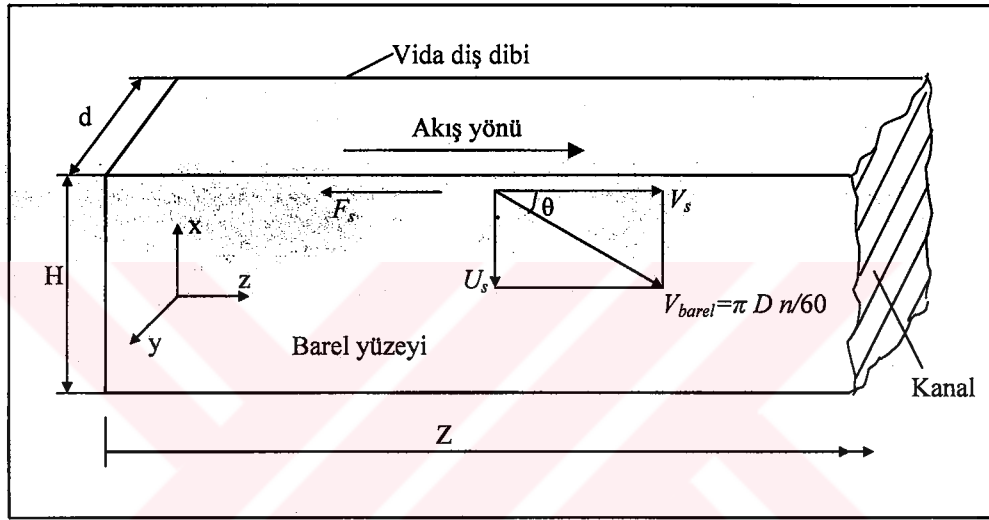
olmaktadır. dA , ekstrüder vidasının barel üzerinde taradığı birim alan olup,

$$dA = \pi D dz \quad (6.54)$$

şeklinde ifade edilebilir. Akışkanın Newtonumsu olduğu kabulü ile kayma gerilmesi,

$$\tau = \eta \frac{dV_{barel}}{dy} \quad (6.55)$$

polimer hız bileşenleri görülmektedir. Şekilde barel yüzeyi ön düzlemde yer almakta olup sirkülasyon ve sürüklenme akışları görülmektedir. Barel yüzeyinde basınç akışı oluşmadığından şekilde gösterilmemiştir. Maksimum sürüklenme akışının (V_s) z-yönünde ve maksimum sirkülasyon akışının (U_s) x-yönünde olduğu görülmektedir. Polimerin barel yüzeyindeki hızı ise V_{barel} olarak gösterilmiş olup. Sürüklenme ve sirkülasyon hızlarının vektörel toplamı olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 6.11. Barel yüzeyinde oluşan hız vektörü

N_{sl} , kanal içerisindeki polimere etkiyen viskoz sürtünme gücü ve F_s barel yüzeyindeki kayma kuvveti olmak üzere birim güç,

$$dN_{sl} = V_{barel} * dF_s \quad (6.51)$$

olmaktadır. Şekil 6.11.'den

$$V_{barel} = \frac{\pi D n}{60} \quad (6.52)$$

olduğu görülmektedir. Birim sürtünme kuvveti F_s ise

$$dF_s = \tau dA \quad (6.53)$$

olmaktadır. dA , ekstrüder vidasının barel üzerinde taradığı birim alan olup,

$$dA = \pi D dz \quad (6.54)$$

şeklinde ifade edilebilir. Akışkanın Newtonumsu olduğu kabulü ile kayma gerilmesi,

$$\tau = \eta \frac{dV_{barel}}{dy} \quad (6.55)$$

$\frac{dV_{barel}}{dy}$, barel yüzeyindeki kayma oranı olmak üzere, hız profili üçgen olduğundan

$\frac{dV_{barel}}{dy} \cong \frac{V_{barel}}{d}$ alınabilir. Elde edilen τ ve A değerleri (6.53)'de yerine

konulduğunda,

$$dF_s = \eta \frac{V_{barel}}{d} \pi D dz \quad (6.56)$$

Birim güç ise (6.52) ve (6.56)'nın (6.51) içinde değerlendirilmesiyle,

$$dN_{s1} = \frac{\pi^3 D^3}{d} \frac{n^2}{3600} \eta dz \quad (6.57)$$

olarak elde edilir. Helisi açılmış vida kanalında oluşan toplam güç ise

$$\begin{aligned} \int_0^Z dN_{s1} &= \int_0^Z \frac{\pi^3 D^3}{d} \frac{n^2}{3600} \eta dz \\ N_{s1} &= \frac{\pi^3 D^3 n^2 \eta}{3600 d} Z \end{aligned} \quad (6.58)$$

olarak elde edilir. $Z = \frac{L}{\sin \theta}$ ifadesi (6.58)'de yerine yazıldığında vida boyunca gerekli güç ifadesi,

$$N_{s1} = \frac{\pi^3 D^3 n^2 \eta}{3600 d} \frac{L}{\sin \theta} \quad (6.59)$$

halini almaktadır. Elde edilen bu güç ifadesi vida kanalı içerisinde barel yüzeyinde oluşan sürtünme kuvveti nedeniyle oluşan viskoz kayıp gücüdür. Polimerin göstermiş olduğu direnç gücü olarak değerlendirilmektedir.

6.3.2. Vida ucu-Barel Açıklığında Oluşan Viskoz Kayıp Güç

Barel ve vida ucu arasındaki radyal açıklıkta oluşan viskoz akış bu açıklıkta kayıp gücün oluşmasına neden olmaktadır. Viskoz güç kaybının olduğu bölge Şekil 6.12.'de verilmektedir. Burada vida ve barel arasında oluşan sürtünme ve basınç kuvvetleri, vidanın dönme merkezine göre bir moment (M_s) oluşturmaktadır. Bu momente viskoz kayıp moment denilmektedir. Kayıp moment ile vidanın açısal hızının (ω) çarpımı viskoz kayıp gücü vermektedir.

$$\tau = \eta \frac{dV_s}{dy} \quad (6.61)$$

Viskoz kaybın olduğu, vida dişinin taradığı alan

$$dA_s = dx dz \quad (6.62)$$

$$\iint dA_s = \int_{z=0}^{z=Z} \int_{x=0}^{x=t_x} dx dz$$

$$A_s = Z t_x = Z t \cos \theta \quad (6.63)$$

olmaktadır. $\frac{dV_s}{dy} \cong \frac{V_s}{\delta}$ alınabileceğinden (6.61) ifadesinde kayma gerilmesi

$$\tau = \eta \frac{V_s}{\delta} \quad (6.64)$$

olmaktadır. Sürtünme kuvveti ise buradan,

$$F_s = \eta \frac{V_s}{\delta} Z t \cos \theta \quad (6.65)$$

olmaktadır.

Basınçtan kaynaklanan birim kuvvet radyal açıklığın ortasında ($\delta/2$) maksimum değerine ulaşmaktadır. Buradan,

$$dF_p = P dy dx \quad (6.66)$$

olmaktadır. Sınır şartlar olan $y=\delta/2$ ve $x=Z$ 'ye kadar integral alındığında basınç kuvveti

$$F_p = \frac{P \delta Z}{2} \quad (6.67)$$

olarak bulunmaktadır. Viskoz kayıp kuvvet (F_v) ise basınç ve sürtünme kuvvetlerinin toplamına eşittir. (6.65) ve (6.67) değerlendirildiğinde viskoz kayıp kuvvet,

$$F_v = \frac{P \delta Z}{2} + \eta \frac{V_s}{\delta} Z t \cos \theta \quad (6.68)$$

olarak bulunmaktadır. Viskoz moment kaybı ise bu kuvvetin vidanın dönme eksenine göre momenti olarak değerlendirilmektedir.

$$M_{s2} = \frac{F_v D}{2} \quad (6.69)$$

$$M_{s2} = \frac{D}{2} \left(\frac{P \delta Z}{2} + \eta \frac{V_s}{\delta} Z t \cos \theta \right) \quad (6.70)$$

olarak değerlendirilmektedir. Viskoz kayıp gücü, viskoz moment ile açısal hızın çarpımıdır. $Z = \frac{L}{\sin \theta}$, $V_s = \frac{\pi D n}{60} \cos \theta$ ve N_k viskoz kayıp gücü olmak üzere (6.70) değerlendirilerek

$$N_{s2} = M_{s2} \omega$$

$$N_{s2} = \frac{D L}{2 \sin \theta} \left(\frac{P \delta}{2} + \eta \frac{\pi D n}{60 \delta} t \cos^2 \theta \right) \omega \quad (6.71)$$

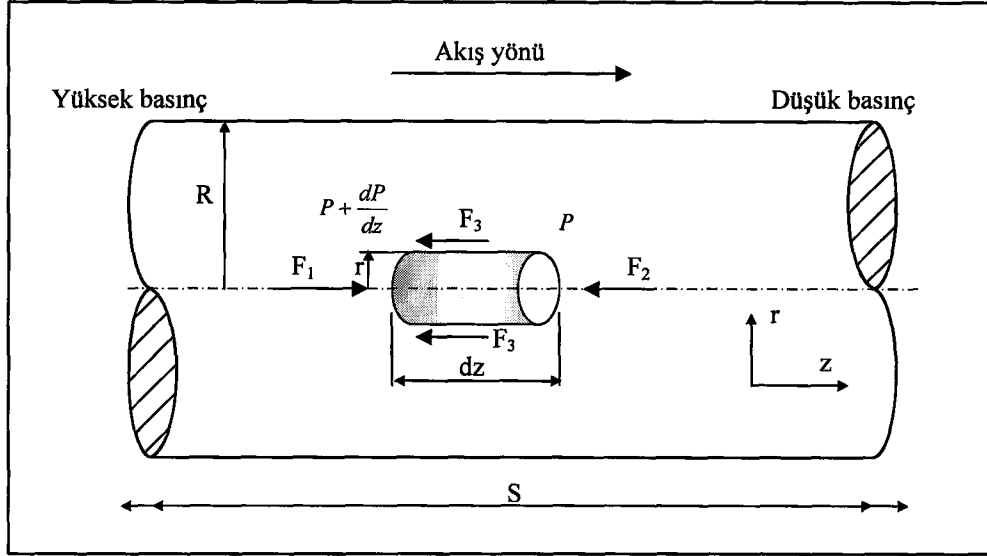
$n = \frac{30 \omega}{\pi}$ olarak yazıldığında

$$N_{s2} = \frac{D L t}{4 \sin \theta} \left(\frac{P \delta \omega}{t} + \eta \frac{D \omega^2}{\delta} \cos^2 \theta \right) \quad (6.72)$$

olmaktadır. Elde edilen bu güç vida ucu ile barel arasındaki kayıp gücü olarak değerlendirilmektedir. Vidanın hareketine direnç gösteren ikinci bir güç olarak ortaya çıkmaktadır.

6.4. Ekstrüder Çıkışı (Kafa)

Ekstrüder çıkışı (kafa) pompa elemanına nihai basınç ve debi değerlerini ileten eleman olarak değerlendirilmektedir. Ekstrüderin silindirik barel elemanı, vida sonunda konik bir geçişle silindirik bir kafa oluşturur. Kafa kullanım amacına göre, silindirik, konik, dikdörtgen vb. şekillerde çeşitlilik arz etmektedir. Filament üretiminde pompadan önce yer alan kafa silindirik olmaktadır. Kafa içerisindeki eleman silindirik bir polimerin akış durumu ve etki eden kuvvetler Şekil 6.14.'te verilmektedir. Burada R, kafa yarıçapını, S ise kafa uzunluğunu göstermektedir.



Şekil 6.14. Silindirik kafa (boru) içerisindeki elemanter akışkan ve etki eden kuvvetler

Basınç boru boyunca gittikçe düşmektedir. Dolayısıyla ekstrüder çıkışında yüksek basınç, pompa girişinde daha düşük bir basınç değeri elde edilmektedir. Yukarıdaki şekilde;

$$F_1 = \pi dr^2 \left(P + \frac{\partial P}{\partial z} dz \right) \quad (6.73)$$

$$F_2 = \pi dr^2 P \quad (6.74)$$

$$F_3 = 2\pi dr dz d\tau \quad (6.75)$$

olmaktadır. Burada laminar akış olduğu kabulüyle,

$$F_1 = F_2 + F_3$$

$$\pi dr^2 \left(P + \frac{\partial P}{\partial z} dz \right) = \pi dr^2 P + 2\pi dr dz \tau$$

olmaktadır. Buradan kayma gerilmesi

$$d\tau = \frac{dr}{2} \left(\frac{\partial P}{\partial z} \right)$$

$$d\tau = \frac{dr}{2} \frac{\partial P}{\partial z}$$

olmaktadır. Basınç gradyeninin lineer olduğu kabulü ile $\frac{\partial P}{\partial z} \cong \frac{P}{S}$ olarak alınabilir.

Böylece kayma gerilmesi

$$d\tau = \frac{dr}{2} \frac{P}{S} \quad (6.76)$$

olarak yazılır.

$$\tau = \eta \frac{\partial V}{\partial r}$$

olduğundan,

$$\frac{r}{2} \frac{P}{S} = \eta \frac{\partial V}{\partial r} \quad (6.77)$$

olmaktadır. Boru içerisindeki akışkanın maksimum hızı boru ortasında olduğundan denklem düzenlenip elemanter akışkanın sınır şartlarında integrali alındığında,

$$\begin{aligned} \int_0^V dV &= \int_R^r \frac{1}{2\eta} \frac{dP}{dz} r dr \\ V &= \frac{1}{2\eta} \frac{dP}{dz} \left(\frac{r^2}{2} - \frac{R^2}{2} \right) \end{aligned} \quad (6.78)$$

$r=0$ 'da, $V=V_{\max}$ 'tır. $r=0$ yukarıdaki denklemde yerine konulduğunda,

$$V_{\max} = -\frac{1}{4\eta} \frac{dP}{dz} R^2$$

elde edilir. Buradan düzenleme yapılarak V 'nin $V_{\max}$ cinsinden gösterilişi

$$V = V_{\max} \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right) \quad (6.79)$$

şeklinde olmaktadır. Boru içerisindeki debi (Q_b) ise

$$Q = \int_0^R 2\pi r V dr$$

olduğundan (6.79) değerlendirilerek,

$$\begin{aligned} Q &= \int_0^R 2\pi r V_0 \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right) dr \\ Q &= \frac{1}{2} \pi V_0 R^2 \end{aligned} \quad (6.80)$$

Buradan yukarıda elde edilen V_0 ifadesi yerine konulduğunda debi

$$Q = -\frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{dP}{dz} \quad (6.81)$$

olarak bulunur. Basınç düşüşünün üniform olduğu kabulüyle ve $\frac{dP}{dz}$ negatif olacağından, debi ifadesi

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{P}{S} \quad (6.82)$$

olarak yazılabilmektedir.

Burada Ekstrüder kafa karakteristiği K olarak tanımlanırsa

$$Q = K P \quad (6.83)$$

şeklinde yazılmaktadır. K ise

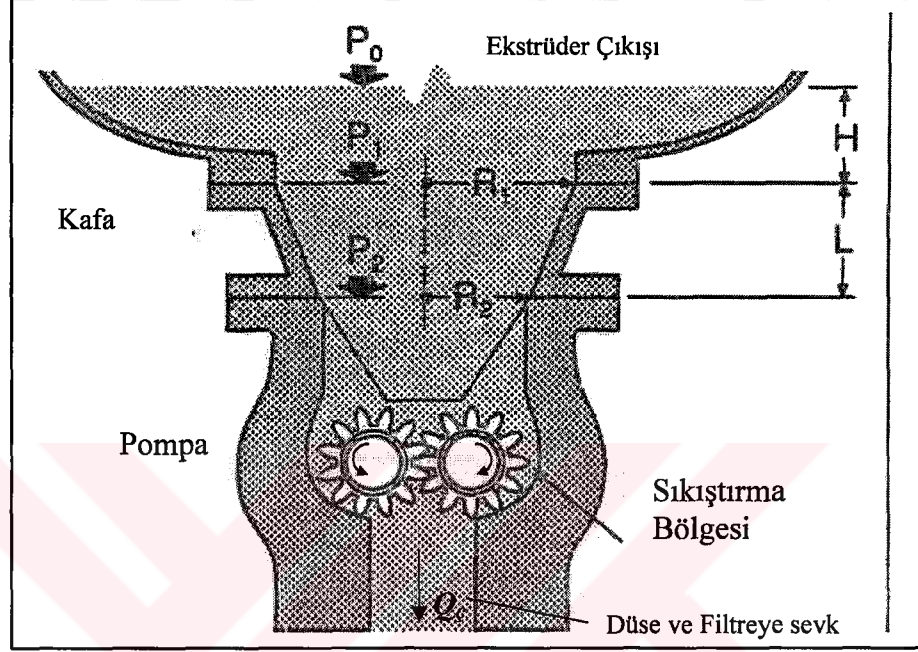
$$K = \frac{\pi R^4}{8\eta S} \quad (6.84)$$

olup ekstrüder çıkış karakteristiğini belirlemektedir.

6.5. Dişli Pompa

Dişli pompa içerisinde geçen polimerin akışı dişli geometrisine ve bu dişlilerin dönüş hızına bağlıdır. Dişli pompanın, kendisinden sonra gelen filtre ve düşe elemanlarının tıkanmadığı ve temiz olduğu kabulüyle ekstrüderden iletilen akışkanın basıncını arttırıcı bir fonksiyonu vardır. Ekstrüderden gelen akışkanın basınç ve debi değerleri ile pompa özelliklerinin (çalışma hızı, geometrik büyüklükleri) uyumlu olması gerekir. Örneğin ekstrüderden gelen akışkanda bir basınç düşüşünün olması, belli bir hızda dönen pompa dişlilerinde kavitasyon oluşmasına ve filtre-düşe elemanlarına eriyiğin düzensiz olarak sevk edilmesine sebep olmaktadır. Şekil 6.15.'te ekstrüder kafası ve tipik bir reaktör dişli pompa şematik olarak gösterilmektedir. Eriyik ekstrüder kafasından pompalama bölgesine sevk edilerek basıncının arttırılması sağlanır. Burada H , ekstrüder ile kafa arasındaki mesafeyi, L , konik kafanın koniklik uzunluğu, P_0 , ekstrüderden sağlanan nihai basınç değeri, P_1 kafa girişindeki basınç ve P_2 dişli pompaya girmeden önceki basınç değeri olarak gösterilmiştir. Kafanın konik olması pompada kavitasyonu önleyeceği gibi

basınç artışını da sebep olmaktadır. Bu konikliğe “adaptör”de denilmekte olup pompaya akışkanın adapte olduğu bölge olarak değerlendirilebilir. Eriyik, pompadan Q_c çıkış debisi ve P_c nihai basıncı ile ayrılarak filtre ve düseye sevk edilir.



Şekil 6.15. Ekstrüder kafası ve Dişli Pompa
(Murphy, M.W., Stallings, T.H., McKelvey, M. J., 1998)

Pompa için akış denklemleri şu şekilde olmaktadır.

$$Q_{pompa} = \beta \frac{n_{pompa}}{60} \varepsilon \quad (6.85)$$

Burada,

β : Pompanın süpürme hızı (m^3/s)

n_{pompa} : Pompa hızı (dev/dak)

ε : Pompanın hacimsel verimliliğidir.

Pompaya belli bir basınçta giren polimer ΔP basınç farkı ile pompadan ayrılır.

Pompanın mekanik gücü ve oluşturduğu basınç için ise

$$N_{pompa} = \beta \frac{n_{pompa}}{60} \Delta P \quad (6.86)$$

yazılabilir.

6.6. Akış ve Güç İfadeleri İçin Boyutsuz Çalışmalar

Akış ve güç için daha önce elde edilen boyutlu ifadeler tasarım için sınırlayıcı olduklarından bu ifadelerin boyutsuz hale getirilmesiyle bir çok parametre bir arada incelenebilecektir. Boyutsuz çalışma tasarım parametreleri için tasarımcıya kolaylık sağladığından daha önce elde akış için edilen boyutlu ifadeler bu bölümde boyutsuz hale getirilmiştir. Boyutsuz çalışmalar yapılırken ekstrüder için önemli bir parametre olan vida çapı (D) esas alınıp diğer parametrelerin boyutsuz ifadeleri vida çapına oranlanarak bulunmuştur.

6.6.1. Sürüklenme Akışı için Boyutsuz Çalışma

Sürüklenme akışı için daha önce elde edilen

$$Q_s = \frac{\pi D n d H \cos \theta}{120} \quad (6.6)$$

ifadesi, devir sayısı (n)'nın açısal hız (ω) cinsinden yazılmasıyla,

$$Q_s = \frac{D \omega d H}{4} \cos \theta \quad (6.87)$$

halini alır. Vidanın helis açısı θ bir çok ekstrüderde 17.40° olarak değerlendirilmektedir. Bu ifadeyi boyutsuzlaştırmak için ,

$$\bar{d} = \frac{d}{D}, \quad \bar{H} = \frac{H}{D}$$

alındığında boyutsuz sürüklenme debisi

$$\bar{Q}_s = 0.24 \bar{d} \bar{H} \quad (6.88)$$

olarak bulunur. Burada boyutsuz debi, boyutlu parametrelerle

$$\bar{Q}_s = \frac{Q_s}{\omega D^3} \quad (6.89)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

6.6.2. Basınç Akışı için Boyutsuz Çalışma

Basınç akışı için daha önce

$$Q_p = -\frac{1}{12\eta} H d^3 \frac{P}{Z} \quad (6.90)$$

boyutlu eşitliği elde edilmiştir. L vidanın aksenal uzunluğu olmak üzere

$$Z = \frac{L}{\sin \theta} \quad (6.91)$$

olduğundan (6.19) yeniden değerlendirildiğinde

$$Q_p = -\frac{1}{12\eta} H d^3 \frac{P}{L} \sin \theta \quad (6.92)$$

olarak bulunur. Bu ifadede

$$\bar{d} = \frac{d}{D}, \quad \bar{H} = \frac{H}{D}, \quad \bar{P} = \frac{P}{\eta \omega} \text{ ve } \bar{L} = \frac{L}{D}$$

alınarak

$$\bar{Q}_p = -0.025 \bar{H} \bar{d}^3 \frac{\bar{P}}{\bar{L}} \quad (6.93)$$

şeklinde basınç akışı için boyutsuz debi ifadesi elde edilmiş olur. Burada boyutsuz debi, boyutlu parametrelerle

$$\bar{Q}_p = \frac{Q_p}{\omega D^3} \quad (6.94)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

6.6.3. Net Akış İçin Boyutsuz Çalışma

Net akış (Q_t), kaçak akışın ihmal edilmesiyle daha önce,

$$Q_t = Q_s - Q_p$$

olarak ifade edilmiştir. Bu eşitlik boyutsuz ifadeler ile yeniden değerlendirildiğinde

$$\bar{Q}_t = \bar{Q}_s - \bar{Q}_p \quad (6.95)$$

olarak bulunur. (6.88) ve (6.92) eşitliklerinin bu ifadede yerine yazılmasıyla boyutsuz net akış ifadesi

$$\bar{Q}_t = 0.24 \bar{d} \bar{H} - 0.025 \bar{H} \bar{d}^3 \frac{\bar{P}}{\bar{L}} \quad (6.96)$$

halini almaktadır. Boyutsuz net akış boyutlu parametrelerle

$$\bar{Q}_t = \frac{Q_t}{\omega D^3}$$

şeklinde elde edilmektedir.

6.6.4. Kaçak Akış İçin Boyutsuz Çalışma

Net kaçak akış daha önce,

$$Q_k = \pi^2 D^2 \tan \theta \left(\frac{n\delta}{120} - \frac{1}{12\eta} \frac{\delta^3}{t \cos \theta} \frac{P}{Z} \right) \quad (6.38)$$

olarak bulunmuştur. Burada $n = \frac{30\omega}{\pi}$ ve $Z = \frac{L}{\sin \theta}$ alınarak ve kaçak girişe doğru olduğundan eşitliğin sağ tarafı (-) ile çarpılarak kaçak debi,

$$Q_k = \pi^2 D^2 \tan \theta \left(\frac{1}{12\eta} \frac{\delta^3}{t} \frac{P \tan \theta}{L} - \frac{\omega \delta}{4\pi} \right) \quad (6.97)$$

olarak ifade edilebilir.

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{D}, \quad \bar{t} = \frac{t}{D}, \quad \bar{P} = \frac{P}{\eta\omega} \text{ ve } \bar{L} = \frac{L}{D}$$

alındığında Boyutsuz kaçak akış

$$\bar{Q}_k = 0.08 \frac{\bar{\delta}^3}{\bar{t}} \frac{\bar{P}}{\bar{L}} - 0.246 \bar{\delta} \quad (6.98)$$

olarak bulunmaktadır. Buradan boyutsuz kaçak debinin boyutlu parametrelerle ifadesi

$$\bar{Q}_k = \frac{Q_k}{\omega D^3} \quad (6.99)$$

şeklinde olmaktadır.

6.6.5. Viskoz Kayıp Güç İçin Boyutsuz Çalışma

Ekstrüder içindeki eriyiğin hareketi için gerekli güç ifadesi

$$N_{s1} = \frac{\pi^3 D^3 n^2 \eta}{3600 d} \frac{L}{\sin \theta} \quad (6.59)$$

olarak elde edilmiştir. Bu eşitlikte $\theta = 17.4$ ve $n = \frac{30\omega}{\pi}$ alındığında,

$$N_{s1} = 2.626 \frac{D^3 \omega^2 \eta}{d} L \quad (6.100)$$

şeklinde bulunur. İfadeyi boyutsuzlaştırmak için

$$\bar{d} = \frac{d}{D} \text{ ve } \bar{L} = \frac{L}{D}$$

alındığında Boyutsuz güç ifadesi

$$\bar{N}_{s1} = 2.626 \frac{\bar{L}}{\bar{d}} \quad (6.101)$$

olarak elde edilir. Boyutsuz viskoz gücün boyutlu olarak gösterilişi ise

$$\bar{N}_{s1} = \frac{N_{s1}}{D^3 \omega^2 \eta} \quad (6.102)$$

şeklindedir.

6.6.6. Vida ucu-Barel Arasındaki Viskoz Kayıp Güç İçin Boyutsuz Çalışma

Kayıp güç için daha önce elde edilen

$$N_{s2} = \frac{D L t}{4 \sin \theta} \left(\frac{P \delta \omega}{t} + \eta \frac{D \omega^2}{\delta} \cos^2 \theta \right) \quad (6.72)$$

eşitliğinde $\theta = 17.4^\circ$ ve

$$\bar{t} = \frac{t}{D}, \quad \bar{L} = \frac{L}{D}, \quad \bar{d} = \frac{d}{D}, \quad \bar{\delta} = \frac{\delta}{D}, \quad \bar{P} = \frac{P}{\eta \omega}$$

boyutsuz ifadeleri tanımlandığında boyutsuz kayıp güç

$$\bar{N}_{s2} = 0.836 \bar{L} \left(\frac{\bar{P} \bar{\delta}}{\bar{t}} + \frac{0.91}{\bar{\delta}} \right) \quad (6.103)$$

olmaktadır.

Buradan boyutsuz gücün boyutlu ifadelerle gösterilişi ise

$$\bar{N}_{s2} = \frac{N_{s2}}{L t D \omega^2 \eta} \quad (6.104)$$

şeklinde olmaktadır.

7. TEORİK NETİCELER VE İRDELEME

7.1. Giriş

Altıncı bölümde elde edilen boyutsuz ifadelerin ekstrüderin çalışma parametreleri olan viskozite, debi, basınç gibi parametrelere olan etkisi bu bölümde incelenmeye çalışılacaktır. Net akış, kaçak akış ve güç için boyutsuz çalışmalar ve bunların değerlendirilmesi yapılmıştır. Çizelge 5.1.'den ve literatürden elde edilen, tekstilde kullanılan bir ekstrüderde boyutlu ve boyutsuz parametreler için bazı limit değerler Çizelge 7.1.'de verilmektedir.

Çizelge 7.1. Ekstrüder için boyutlu-boyutsuz parametreler ve limit değerleri

Boyutlu		Boyutsuz	
Parametre	Değer	Parametre	Değer
D	0.05-0.25 m.		
L	0.1-3.0 m.	$\bar{L}$	1-30
d	0.01-0.05m.	$\bar{d}$	0.05-0.2
H	0.05-0.25 m.	$\bar{H}$	0.5-1.5
t	0.01-0.02 m.	$\bar{t}$	0.05-0.2
δ	0.0005-0.005m.	$\bar{\delta}$	0.001-0.005
P	50-150 bar	$\bar{P}$	500-1500
ω	10-25 rad/s		
η	10^5 poise (10^4 Pa.s)		

Bu bölümde, verilen değerler üzerinde çalışılarak tek vidalı bir ekstrüder için boyutsuz çalışma yapılmıştır.

7.2. Net Akış İçin Teorik Neticeler

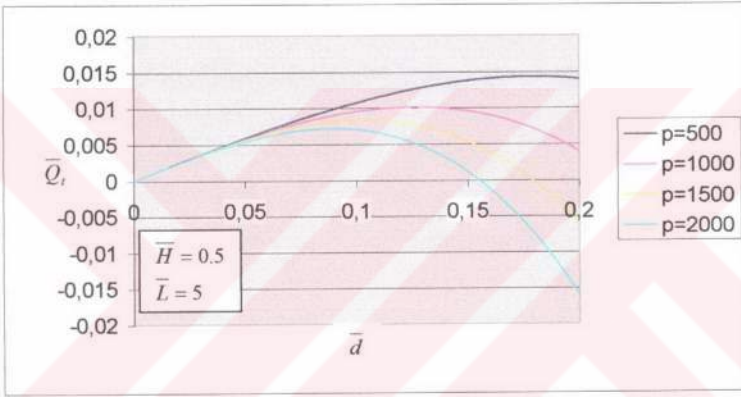
(6.79) eşitliğinden boyutsuz net akışın ($\bar{Q}_t$), boyutsuz kanal derinliğinin ($\bar{d}$) küpü ile orantılı olarak azaldığı, boyutsuz hatve ($\bar{H}$) ile doğru orantılı olarak arttığı, boyutsuz basınç ($\bar{P}$) ile orantılı olarak azaldığı ve boyutsuz vida uzunluğu ($\bar{L}$) ile ters orantılı olarak azaldığı anlaşılmaktadır. Çizelge 7.1.'de verilen limit durumlar için (6.79) eşitliği incelendiğinde bahsedilen boyutsuz parametrelerin değişimi Şekil 7.1... Şekil 7.20'de verilmektedir.

7.2.1. Boyutsuz Net Akış ($\bar{Q}_t$) – Boyutsuz Kanal Derinliği ($\bar{d}$) Değişimi

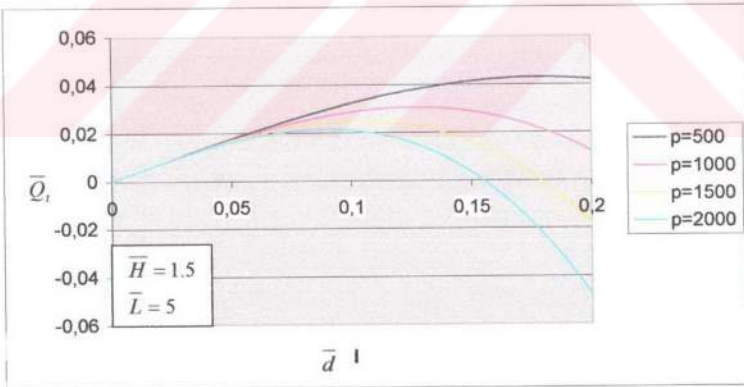
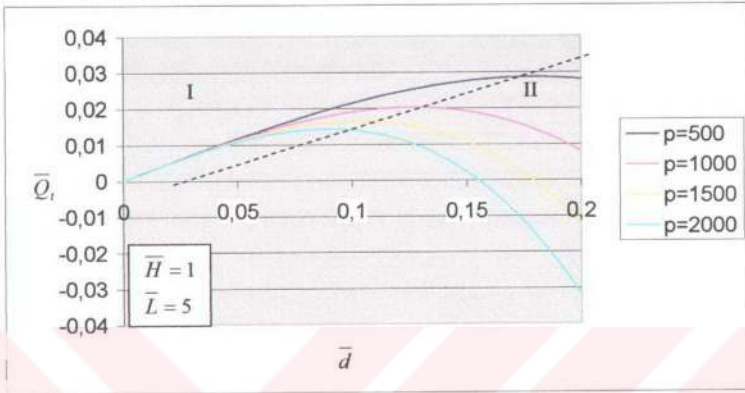
Şekil 7.1.-Şekil 7.5.'te boyutsuz kanal derinliği ($\bar{d}$) ile boyutsuz net akış ($\bar{Q}_t$) değişimi verilmektedir. Şekillerden $\bar{d}$ 'nin belli bir değerine kadar net akışın farklı basınçlarda aynı değeri aldığı, bu değerden sonra yüksek basınçlarda akışın azaldığı görülmektedir. Şekil 7.2 incelendiğinde $\bar{d} = 0.05$ değerine kadar farklı basınçlarda aynı akış elde edilirken bu değerden sonra $\bar{d}$ 'nin artırılması ile büyük basınçlarda akışın düştüğü ve belli bir noktada sıfırlanarak negatife geçtiği görülmektedir. Bu da akış için istenen bir durum değildir. Örneğin $\bar{P} = 2000$ eğrisi incelendiğinde $\bar{d} = 0.16$ değerinde ekstrüder içerisinde bir akış olmadığı görülmektedir. $\bar{d}$ 'nin bu değerinden sonra akış negatif olmakta ve eriyik ekstrüder girişine sevk edilmektedir. Şekil 7.2.'de maksimum noktalar birleştirilerek ekstrüder için dizayn eğrisi elde edilmiştir. I ile gösterilen bölge ekstrüder dizaynı için esas alınabilecek bölge olurken, II bölgesi akış özellikleri bakımından tasarıma uygun olmamaktadır. Şekil 7.2. ile diğer eğriler karşılaştırıldığında $\bar{H}$ 'ın sabit tutulup $\bar{L}$ 'nin artırılması $\bar{Q}_t$ 'yi artırıcı yönde etki yapmaktadır. Aynı şekilde $\bar{L}$ 'nin sabit tutulup $\bar{H}$ 'ın artırılması da $\bar{Q}_t$ 'nin artmasına yol açmaktadır.

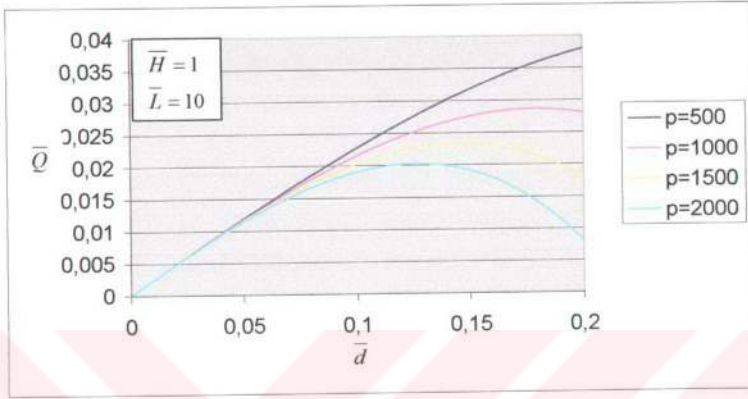
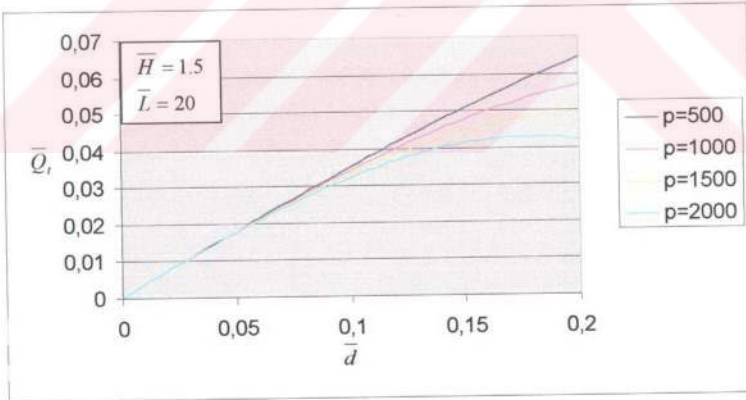
Tekstilde kullanılan bir ekstrüder için genel olarak vida çapı $D = 0.1$ m., vida hızı $n \cong 200$ dev/dak ($\omega = 20$ rad/s) ve polimerler için ortalama viskozite değeri $\eta = 10000$ poise alınabileceğinden, Şekil 7.2. esas alınarak boyutlu inceleme yapılabilmektedir. Ekstrüder sağladığı basınç $P=100$ bar alındığında boyutlu ifadeler

değerlendirilerek bu şartlar için $\bar{P} = 500$ eğrisi incelenebilir. Bu eğri üzerinde $\bar{d} = 0.17$ ($d=0.017$ m.) noktasında $\bar{Q}_t = 0.028$ okunmaktadır. Bu değer ise boyutlu olarak ifade edildiğinde $Q_t = 40.32$ lt/dk. olmaktadır. Buradan, bahsedilen boyutlu şartlarda ekstrüderin ortalama olarak 40 lt/dk'lık bir debi sağladığı belirlenmiştir.



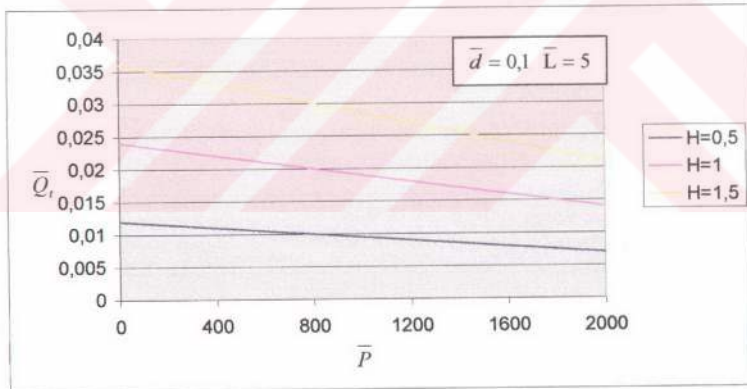
Şekil 7.1. $\bar{Q}_t - \bar{d}$ Değişimi



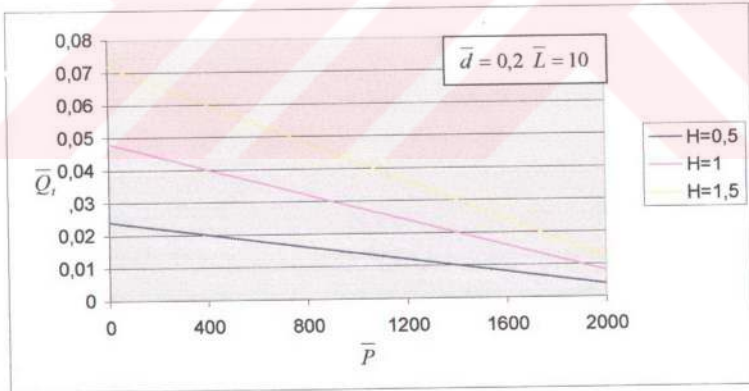
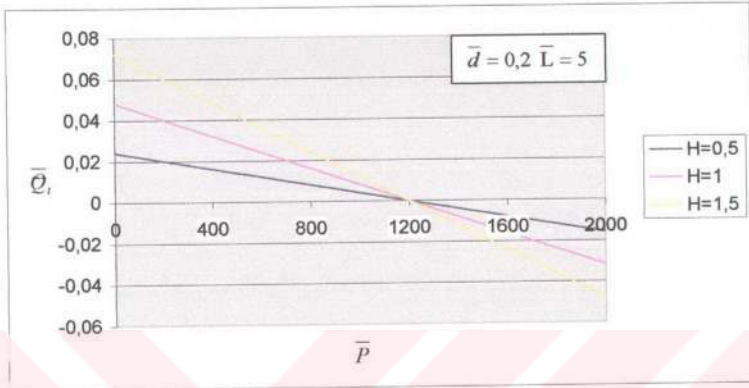
Şekil 7.4. $\bar{Q}_t - \bar{d}$ DeğişimiŞekil 7.5. $\bar{Q}_t - \bar{d}$ Değişimi

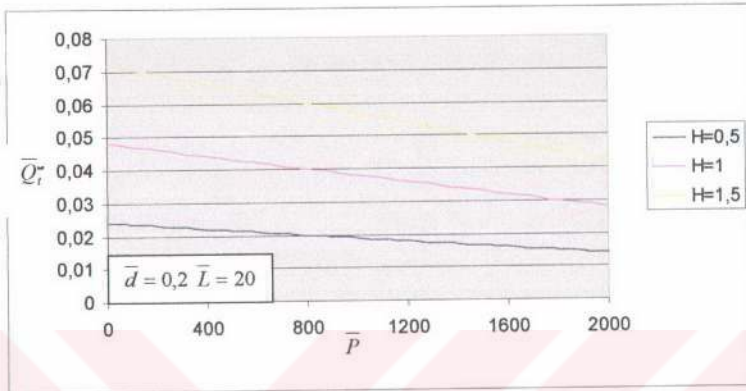
7.2.2. Boyutsuz Net Akış ($\bar{Q}_t$) – Boyutsuz Basınç ($\bar{P}$) Değişimi

Şekil 7.6...Şekil 7.9. farklı boyutsuz hatve ($\bar{H}$) değerlerinde $\bar{Q}_t$ - $\bar{P}$ değişimini vermektedir. Şekillerden basıncın artmasıyla debinin lineer olarak azaldığı görülmektedir. $\bar{d}$ 'nin sabit tutulup $\bar{L}$ 'nin artırılması aynı basınç değerlerinde daha büyük akış elde edileceğini göstermektedir. $\bar{L}$ 'nin sabit tutulup $\bar{d}$ 'nin artırılması ise aynı basınç değerlerinde daha düşük net akış elde edileceğini göstermektedir. Şekil 7.7. incelendiğinde $\bar{P} = 1200$ değerinde ekstrüder içerisinde bir akış oluşmadığı, basıncın artırılması ile akışın ekstrüder girişine doğru olacağı görülmektedir. Buradan yüksek net akış değerlerinin elde edilmesi için $\bar{d}$ 'nin yeterince küçük, $\bar{L}$ 'nin ise belli bir limite kadar büyük seçilmesinin faydalı olacağı anlaşılmaktadır.



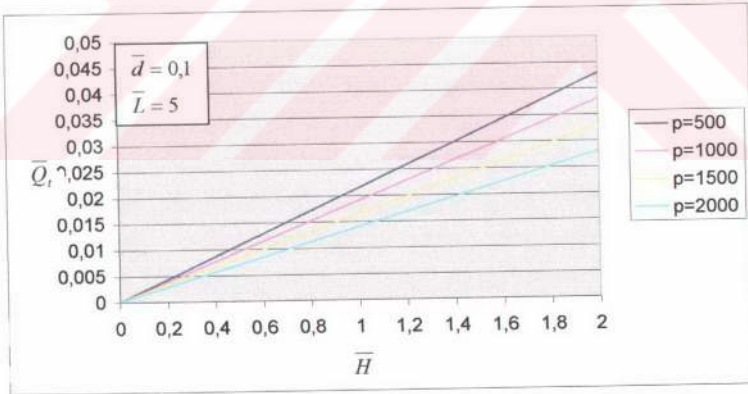
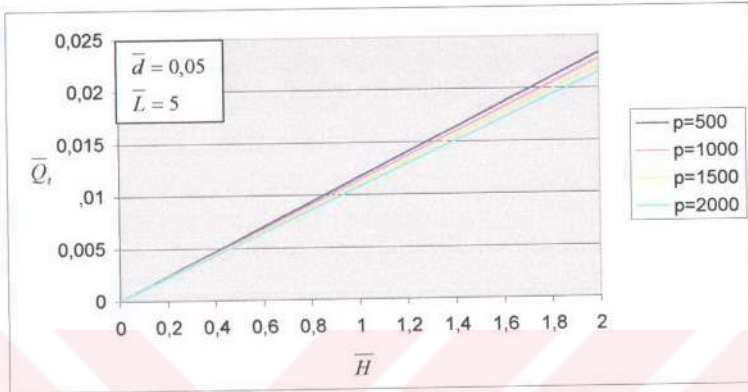
Şekil 7.6. $\bar{Q}_t$ - $\bar{P}$ değişimi

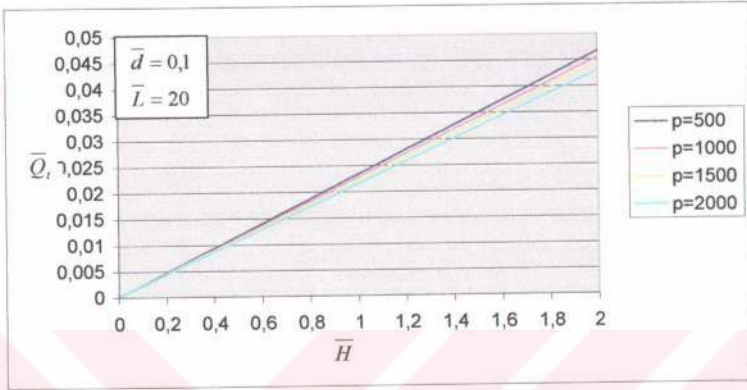
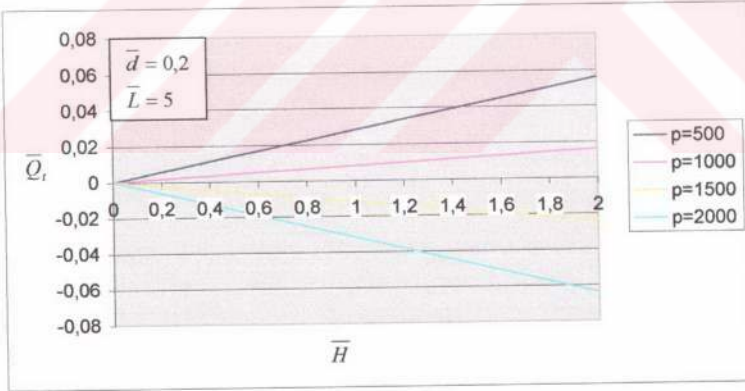


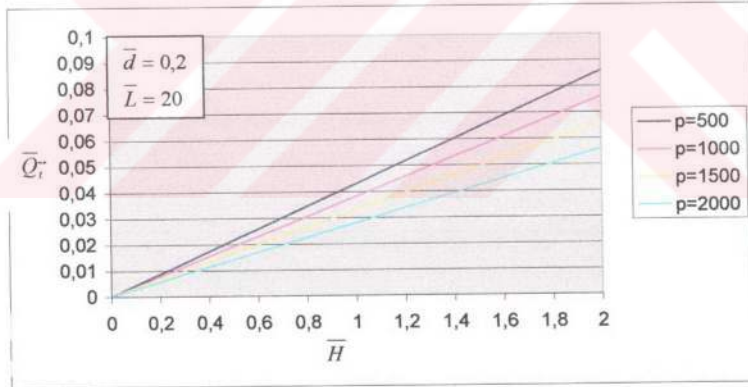
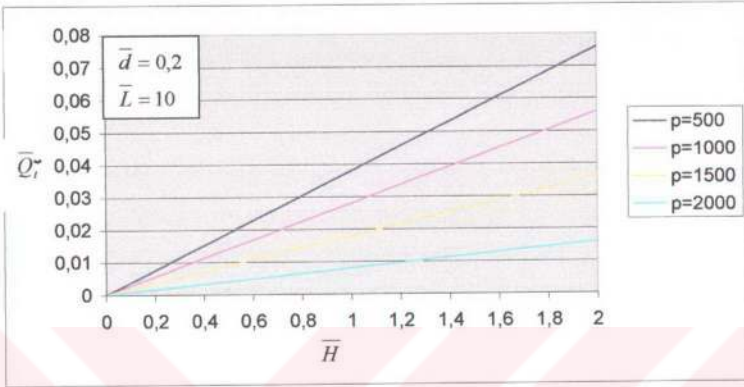
Şekil 7.9. $\bar{Q}_t - \bar{P}$ değişimi

7.2.3. Boyutsuz Net Akış ($\bar{Q}_t$) - Boyutsuz Hatve ($\bar{H}$) Değişimi

Şekil 7.10.-Şekil 7.15. $\bar{Q}_t - \bar{H}$ değişimini göstermektedir. Şekiller incelendiğinde boyutsuz hatve-debi değişiminin doğrusal olduğu ve basınç artışının debiyi düşürdüğü görülmektedir. Ayrıca $\bar{L}$ sabit tutulurken $\bar{d}$ 'nin artırılması debiyi düşürürken Şekil 7.13.'te yüksek basınç değerlerinde debinin negatif değerler aldığı görülmektedir. Bu şekilde $\bar{d} = 0.02$ seçildiğinden tasarımda boyutsuz kanal derinliğinin bu değerden daha küçük seçilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. $\bar{d}$ sabit tutulup $\bar{L}$ artırıldığında ise debinin artma eğilimi gösterdiği görülmektedir.



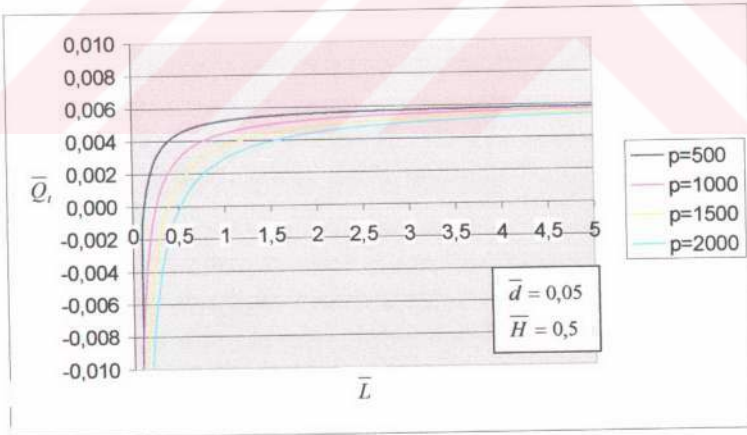
Şekil 7.12. $\bar{Q}_t$ - $\bar{H}$ değişimiŞekil 7.13. $\bar{Q}_t$ - $\bar{H}$ değişimi



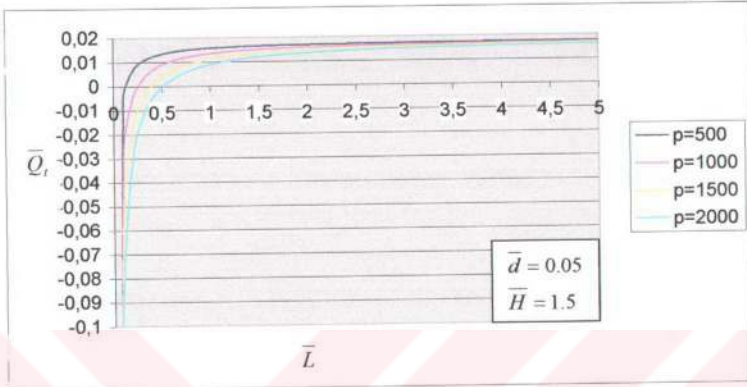
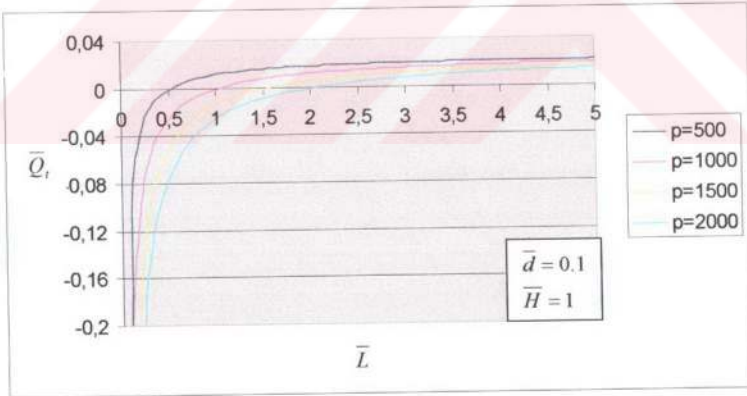
7.2.4. Boyutsuz Net Akış ($\bar{Q}_t$)-Boyutsuz Vida Uzunluğu ($\bar{L}$) Değişimi

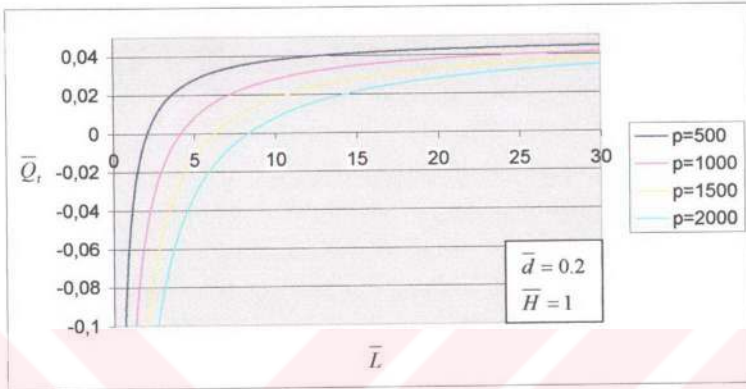
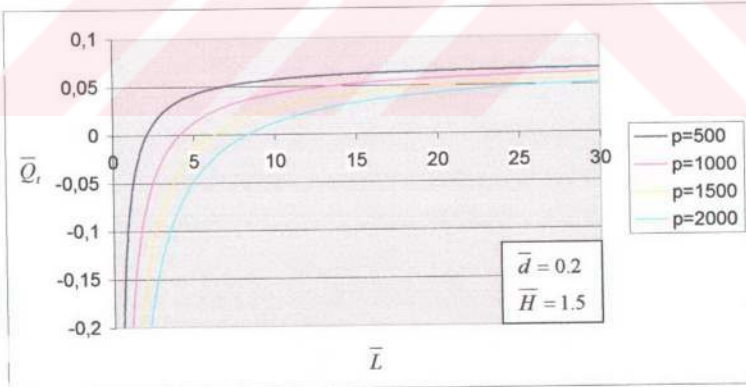
Şekil 7.16.-Şekil 7.20.'de boyutsuz net akış ($\bar{Q}_t$) - Boyutsuz Vida Uzunluğu ($\bar{L}$) değişimi verilmektedir. Şekiller incelendiğinde $\bar{L}$ 'nin sıfıra yakın değerlerinde $\bar{Q}_t$ 'nin $-\infty$ 'a yaklaştığı, $\bar{L}=0.1 \dots 0.5$ arasında farklı basınç değerlerinde farklı noktalarda, $\bar{Q}_t$ 'nin sıfır değerini aldığı görülmektedir. $\bar{L}$ 'nin bu değerden sonra daha da artırılması ile $\bar{Q}_t$ artarak belli bir noktadan sonra sabit olmaktadır.

Şekil 7.18 incelendiğinde $\bar{P} = 500$ için $\bar{L} = 0.5$ noktasında akışın sıfır olduğu ve $\bar{L} = 5$ noktasına kadar $\bar{Q}_t$ değerinin artarak bu noktadan sonra sabit kaldığı görülmektedir. Daha önce bahsedilen boyutlu ifadeler göz önüne alındığında $\bar{L} = 5$ ($L=0.5$ m) alındığında $P=100$ bar'lık ($\bar{P} = 500$) çalışma basıncında $\bar{Q}_t = 0.022$ değeri elde edilmektedir. Bu değer de $Q_t = 26.4$ lt/dk şeklinde boyutlu olarak ifade edilebilmektedir.



Şekil 7.16. $\bar{Q}_t$ - $\bar{L}$ değişimi

Şekil 7.17. $\bar{Q}_t$ - $\bar{L}$ değişimiŞekil 7.18. $\bar{Q}_t$ - $\bar{L}$ değişimi

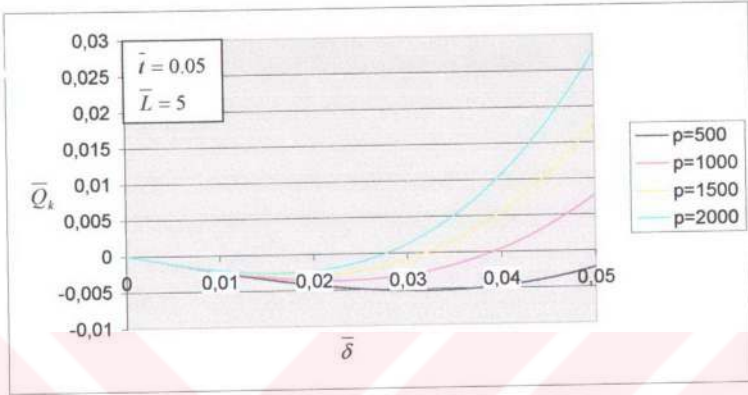
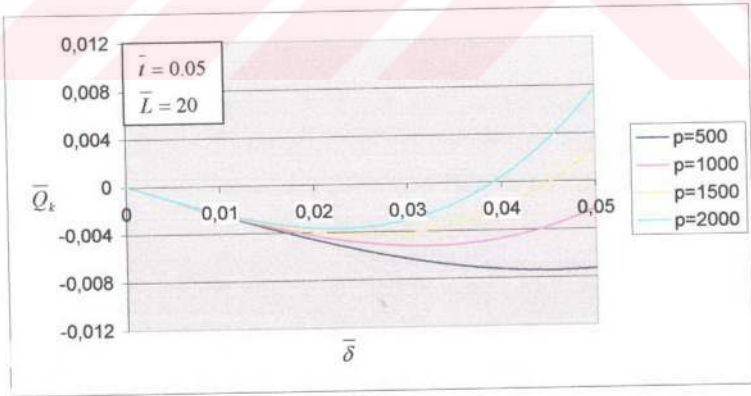
Şekil 7.19. $\bar{Q}_t$ - $\bar{L}$ değişimiŞekil 7.20. $\bar{Q}_t$ - $\bar{L}$ değişimi

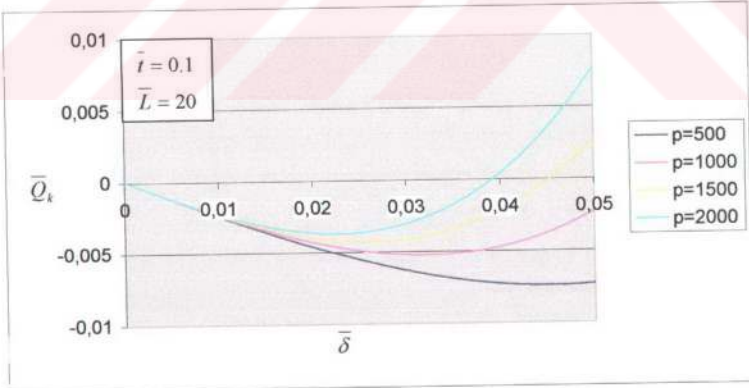
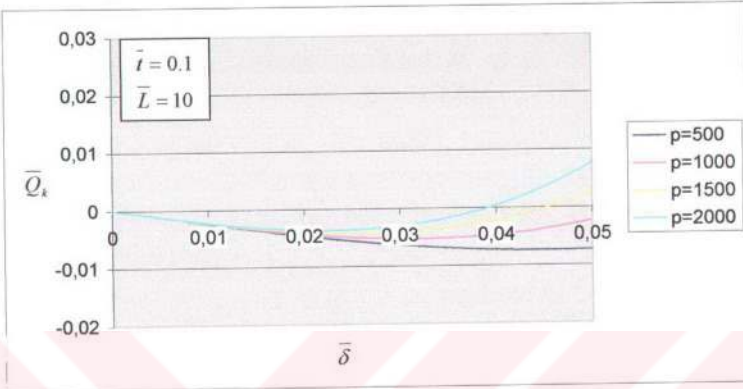
7.3. Boyutsuz Kaçak Akış İçin Teorik Neticeler

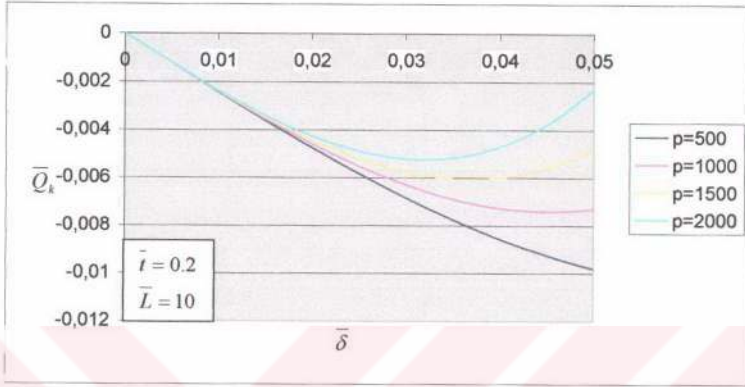
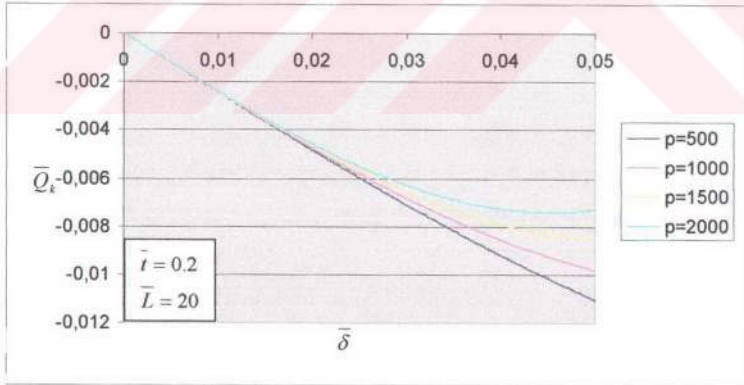
(6.98) eşitliğinde boyutsuz kaçak akışın ($\bar{Q}_k$), boyutsuz vida ucu-barel arası açıklığının ($\bar{\delta}$) küpü ile orantılı olarak arttığı, boyutsuz basınç ($\bar{P}$) ile doğru orantılı olduğu, boyutsuz vida dış kalınlığı ($\bar{t}$) ve boyutsuz vida uzunluğu ($\bar{L}$) ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Çizelge-7.1'de kaçak akış için verilen limit durumlarında yukarıdaki parametrelerin net akışa etkisi Şekil 7.21-Şekil 7.37 arasında gösterilmektedir.

7.3.1. Boyutsuz Kaçak Akış ($\bar{Q}_k$)-Boyutsuz Radyal Açıklık ($\bar{\delta}$) Değişimi

Şekil 7.21.-Şekil 7.27.'de boyutsuz radyal açıklığın boyutsuz debiye etkisi incelenmiştir. Şekillerden $\bar{\delta}$ 'nin belli bir değerine kadar boyutsuz kaçak akışın negatif olduğu yani kaçağın ekstrüder çıkışına doğru olduğu, belli bir değerden sonra ise kaçağın ekstrüder girişine doğru olmaya başladığı görülmektedir. Ekstrüderde kaçak akışın hiç olmaması arzu edilen bir durumdur. Ekstrüder vidası barel ile arasında belli bir tolerans olacak şekilde imal edilmektedir. Bu tolerans radyal aralığı belirlemektedir. Şekillerden boyutsuz radyal aralığın 0.02...0.05 arasında seçilmesiyle akışkan kaçağının sıfır veya çok düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla tasarımda bu değerler dikkate alınarak imalat gerçekleştirilmelidir. $\bar{t}$ 'nin ve $\bar{L}$ 'nin artırılması kaçak akışı arttırırken basıncın artırılması beklendiği üzere aynı radyal aralıkta kaçağın daha fazla olmasına sebep olmaktadır. Şekil 7.24.'te daha önce belirtilen boyutlu ifadeler göz önüne alındığında $P=200$ bar ($\bar{P}=1000$)'lık çalışma basıncında $\bar{\delta}=0.04$ ($\delta=4$ mm.) olduğunda radyal aralıkta akışkan kaçağı olmadığı görülmektedir. Bu değerden sonra ise kaçak akış beklendiği gibi eksponansiyel olarak artmaktadır. Şekil 7.24.'te daha önce bahsedilen boyutlu parametreler dikkate alındığında $\bar{\delta}=0.01$ seçildiğinde $\delta=1$ mm olmaktadır. $P=100$ bar için $\bar{P}=500$ eğrisi incelendiğinde $\bar{Q}_k=-0.0021$ olmaktadır. Buradan kaçak akışın boyutlu olarak ifadesi $Q_k=2.52$ lt/dk olmaktadır. Daha küçük toleranslarda daha küçük kaçak akış değeri elde edileceği görülebilmektedir.

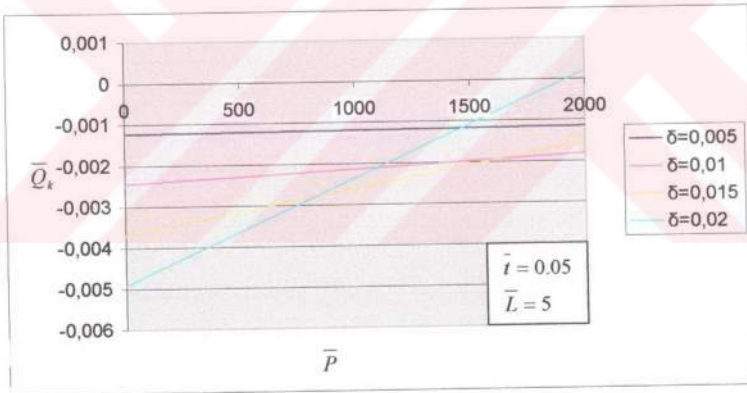
Şekil 7.21. $\bar{Q}_k - \bar{\delta}$ değişimiŞekil 7.22. $\bar{Q}_k - \bar{\delta}$ değişimi



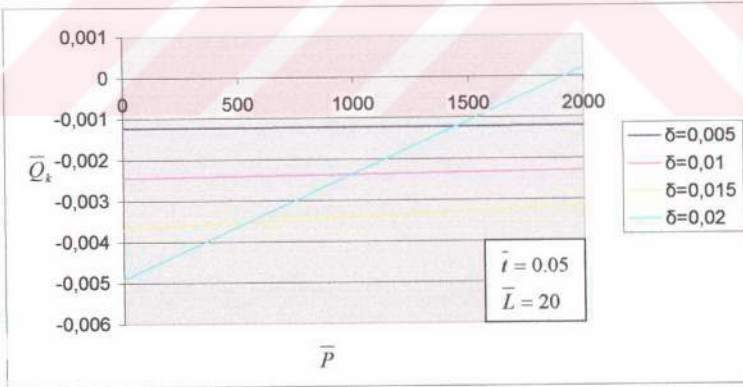
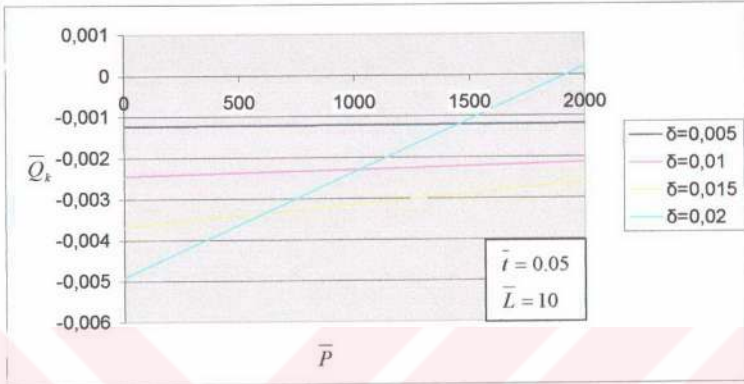
Şekil 7.25. $\bar{Q}_k - \bar{\delta}$ değişimiŞekil 7.26. $\bar{Q}_k - \bar{\delta}$ değişimi

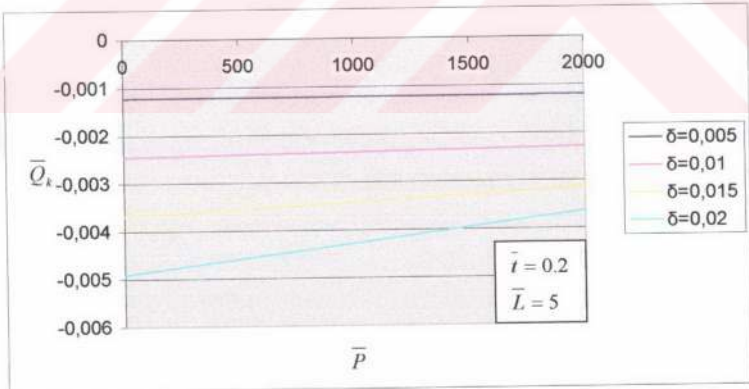
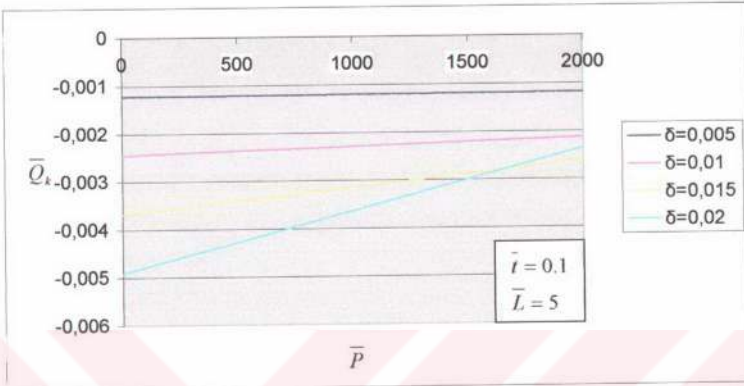
7.3.2. Boyutsuz Kaçak Akış ($\bar{Q}_k$) – Boyutsuz Basınç ($\bar{P}$) Değişimi

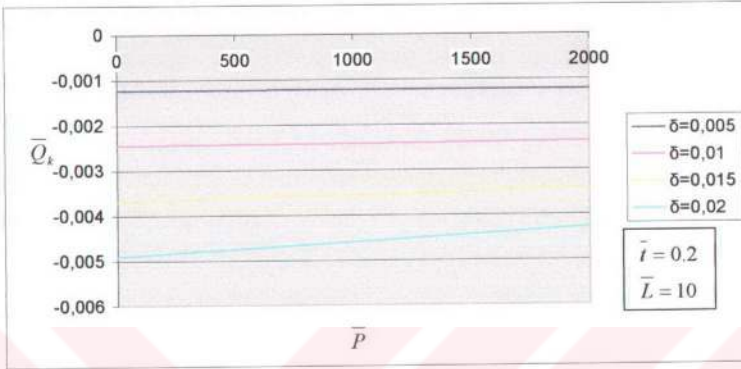
Şekil 7.27-Şekil 7.32’de $\bar{Q}_k - \bar{P}$ değişimi görülmektedir. Burada eğrilerin doğrusal olduğu ve verilen $\bar{t}$ ve $\bar{L}$ değerlerinde boyutsuz kaçağın genelde negatif olduğu, yani kaçağın ekstrüder çıkışına doğru olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 7.27.’de yüksek $\bar{P}$ değerlerinde $\bar{Q}_k$ ’nın pozitif olduğu, yani kaçağın ekstrüder girişine doğru olduğu görülmektedir. Şekil 7.30. ve Şekil 7.31’de $\bar{t}$ ’nin artırılması ile $\bar{Q}_k$ eğrilerinin yataylaştığı ve her basınç değeri için daima negatif olduğu görülmektedir. Şekil 7.32.’de ise $\bar{t} = 0.2$ ve $\bar{L} = 10$ seçilmesiyle $\bar{Q}_k$ eğrilerinin daha da yataylaştığı ve eksene paralel hale geldiği görülmektedir.



Şekil 7.27. $\bar{Q}_k - \bar{P}$ değişimi

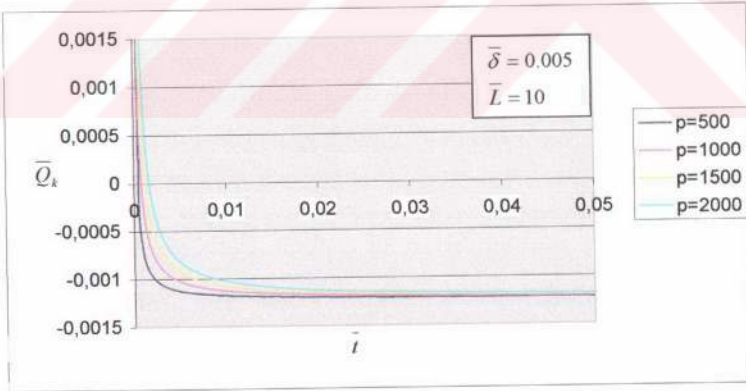
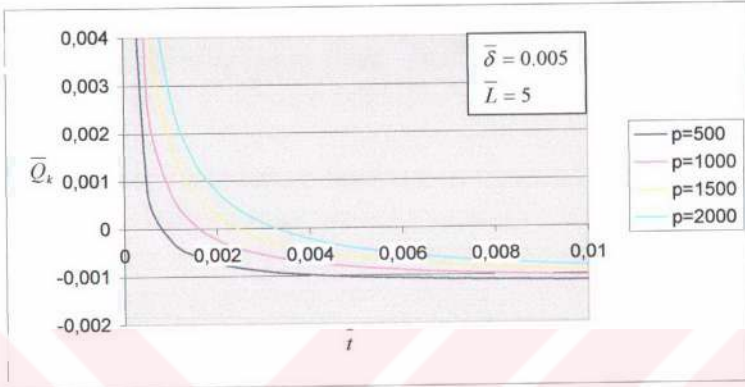


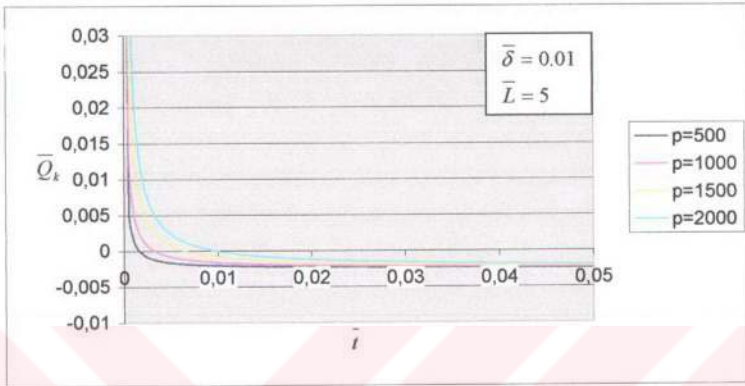
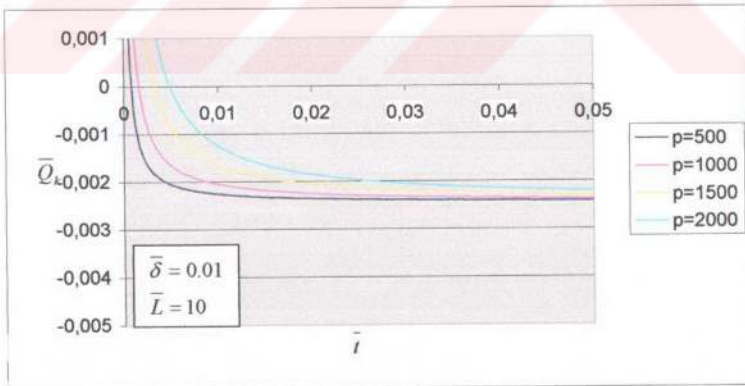


Şekil 7.32. $\overline{Q}_k - \overline{P}$ değişimi

7.3.3. Boyutsuz Kaçak Akış ($\overline{Q}_k$) – Boyutsuz Vida Kalınlığı ($\bar{t}$) Değişimi

Şekil 7.33.-Şekil 7.36.'da $\overline{Q}_k - \bar{t}$ değişimi görülmektedir. Şekildeki eğrilerin logaritmik formda olduğu ve $\bar{t}$ 'nin sıfıra çok yakın değerlerinde $\overline{Q}_k$ 'nın sonsuza yaklaştığı görülmektedir. Şekil 7.33.'te büyük basınç değerlerinde aynı $\bar{t}$ için daha yüksek $\overline{Q}_k$ değerinin elde edildiği görülmektedir. Bu şekilde $\overline{P}=500$ için $\bar{t}=0.01$ ve $\overline{P}=2000$ için $\bar{t}=0.0035$ değerlerinde $\overline{Q}_k$ sıfır olmaktadır. Aynı şekilde, $\bar{t}$ 'nin $\bar{t}=0.01$ e kadar artırılması ile bütün $\overline{Q}_k$ değerlerinde azalma olurken bu değerden sonra $\overline{Q}_k$ sabit olmaktadır.

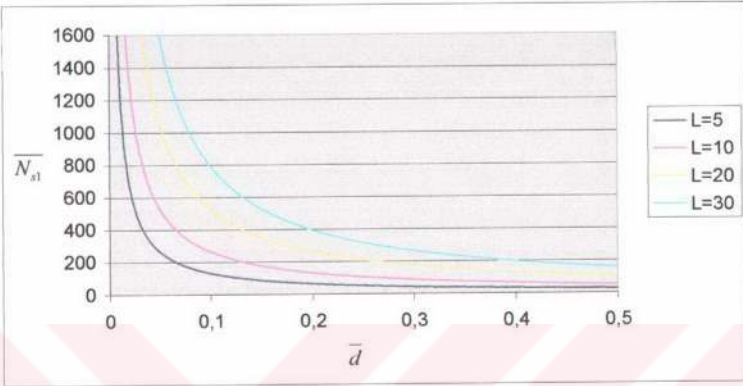
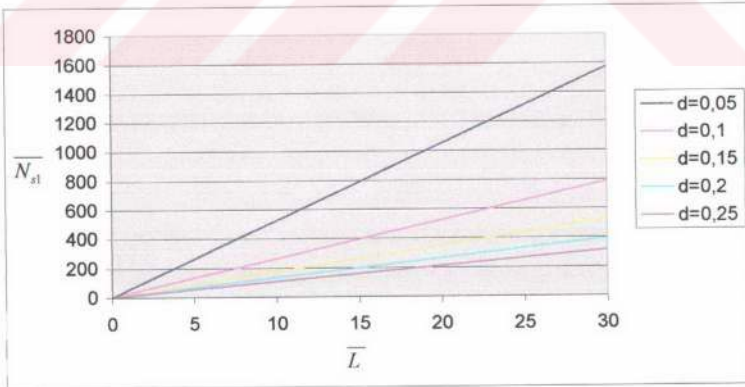


Şekil 7.35. $\bar{Q}_k - \bar{t}$ değişimiŞekil 7.36. $\bar{Q}_k - \bar{t}$ değişimi

7.4. Kanal İçerisindeki Viskoz Kayıp Güç İçin Teorik Neticeler

(6.101) eşitliğinde kanal içerisinde oluşan boyutsuz viskoz kayıp gücün ($\overline{N_{s1}}$), boyutsuz vida uzunluğu ile ($\overline{L}$) ile doğru orantılı, boyutsuz kanal derinliği ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

Şekil 7.37’de farklı $\overline{L}$ değerleri için $\overline{N_{s1}} - \overline{d}$ eğrileri elde edilmiştir. Şekilde, $\overline{d}$ ’nin sıfıra yakın değerlerinde büyük viskoz kayıp gücün oluştuğu görülmektedir. $\overline{d}$ ’nin artırılması ile bu kayıp gücün de azaldığı görülmektedir. Şekilde $\overline{d} = 0.1$ ve $\overline{L} = 5$ için $\overline{N_{s1}} = 135$ olarak bulunmuştur. Daha önce bahsedilen boyutlu parametreler dikkate alındığında $d=1$ cm, $L=50$ cm, ve $N_{s1}=54$ kW olarak bulunmaktadır. $\overline{d} = 0.2$ seçildiğinde ise $\overline{N_{s1}} = 85$ olup boyutlu karşılığı $N_{s1}=34$ kW olmaktadır. Elde edilen bu değer, kanal içerisinde oluşan viskoz kayıp güç olup vidaya uygulanan tahriğe direnç göstermektedir. Şekil 7.38 incelendiğinde ise viskoz kayıp gücün vida uzunluğunun artmasıyla lineer olarak arttığı görülmektedir. Boyutsuz vida derinliğinin artırılması ise kayıp gücü arttırıcı yönde etki yapmaktadır.

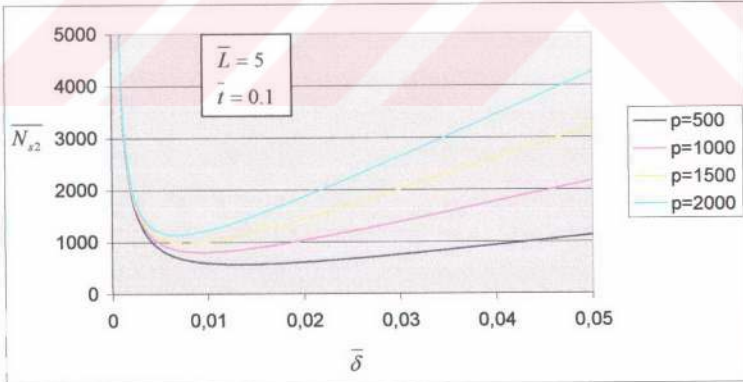
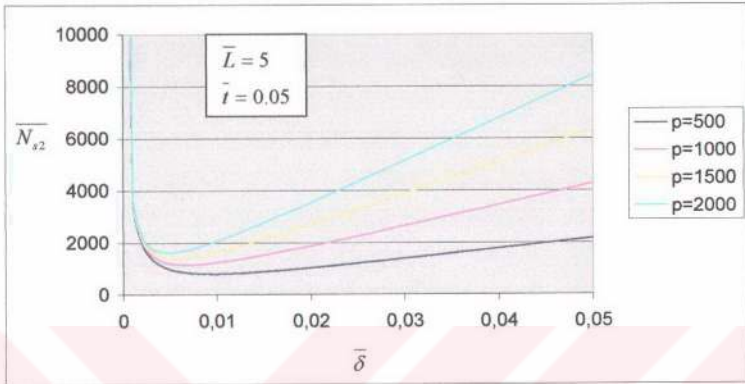
Şekil 7.37. $\overline{N}_{sl}$ - $\overline{d}$ değişimiŞekil 7.38. $\overline{N}_{sl}$ - $\overline{L}$ değişimi

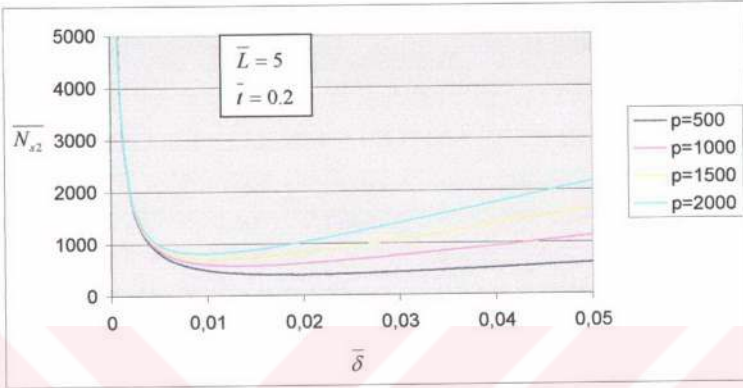
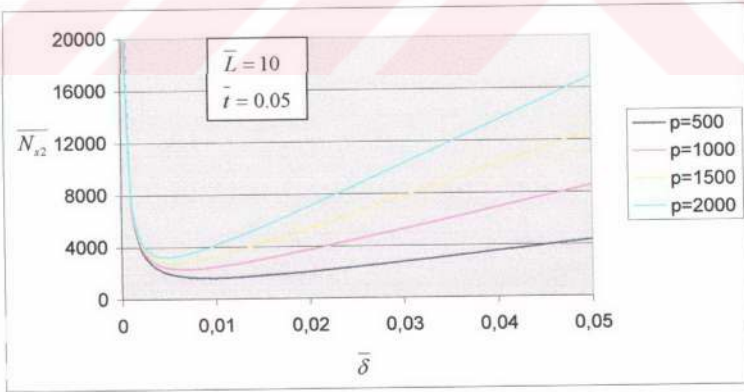
7.5. Vida ucu-Barel Arasındaki Viskoz Kayıp Güç İçin Teorik Neticeler

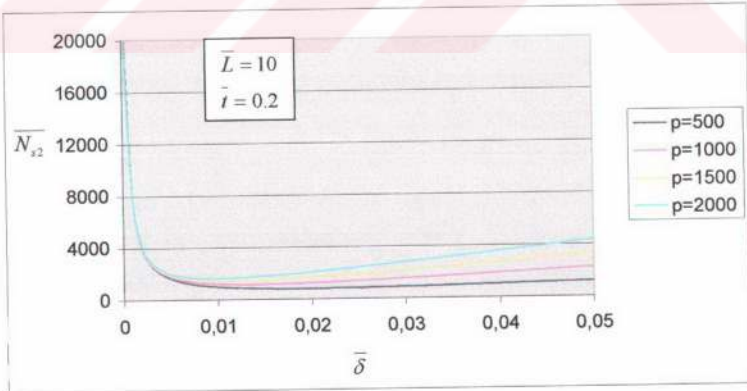
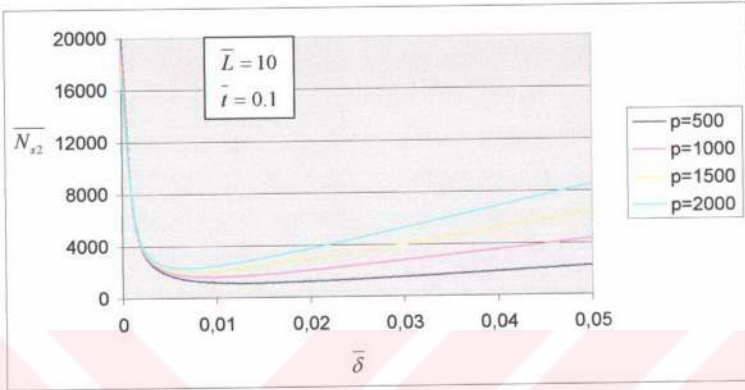
(6.103)'te verilen eşitlikte $\overline{N_{s2}}$, $\overline{L}$, $\overline{P}$ ile doğru, $\overline{t}$ ile ters orantılı $\overline{\delta}$ ile ise belli bir değere ters orantılı, bu değerden sonra ise doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Çizelge-7.1'de verilen limit durumlarında yukarıdaki parametrelerin viskoz kayıp güce etkisi Şekil 7.39...Şekil 7.66 arasında gösterilmektedir.

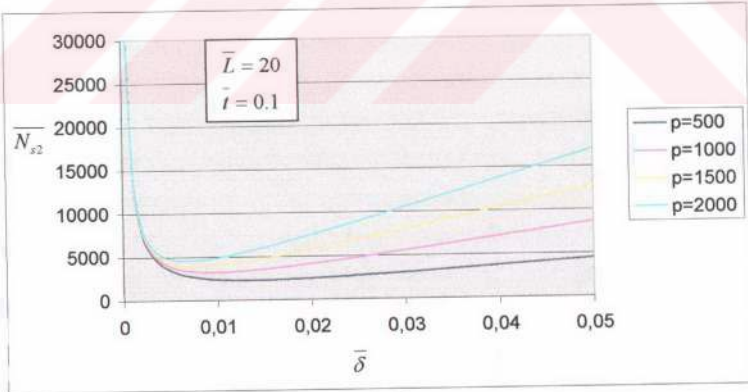
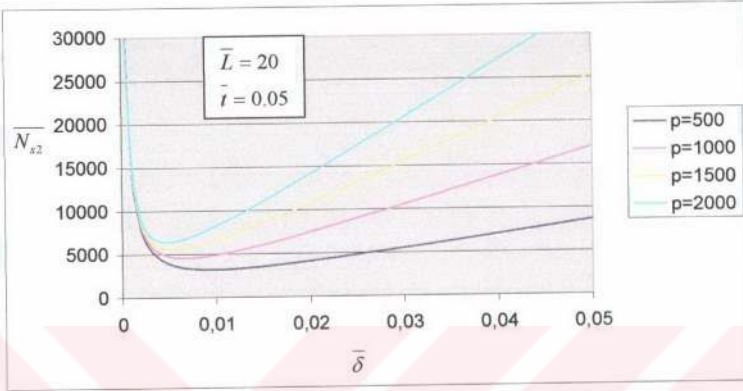
7.5.1. $\overline{N_{s2}} - \overline{\delta}$ Değişimi

Şekil 7.39...Şekil 7.46 $\overline{N_{s2}} - \overline{\delta}$ değişimini farklı basınçlar için vermektedir. Şekillerden $\overline{\delta}$ 'nin sıfıra yakın değerlerinde $\overline{N_{s2}}$ 'nin sonsuza yaklaştığı görülmektedir. $\overline{N_{s2}}$, $\overline{\delta}$ 'nin belli bir değerinde minimum değerini alıp bu değerden sonra lineer olarak artmaktadır. Şekil 7.40. esas alındığında $\overline{P} = 500$ için $\overline{\delta} = 0.014$ noktasında $\overline{N_{s2}} = 564$ olarak minimum değerini almaktadır. Daha önce bahsedilen boyutlu parametreler ($\omega = 20$ rad/s, $P=100$ bar, $D=0.1$ m) değerlendirildiğinde bu noktada $\delta = 1.4$ mm ve $N_{s2}=11.2$ kW olarak bulunmaktadır. $\overline{\delta}$ 'nin bu değerden sonra daha da artırılması kayıp gücün de artmasına sebep olmaktadır. $\overline{L}$ 'nin sabit tutulup $\overline{t}$ 'nin artırılması ile kayıp güç azalırken, $\overline{t}$ 'nin sabit tutulup $\overline{L}$ 'nin artırılması kayıp gücü artırıcı yönde etki yapmaktadır.



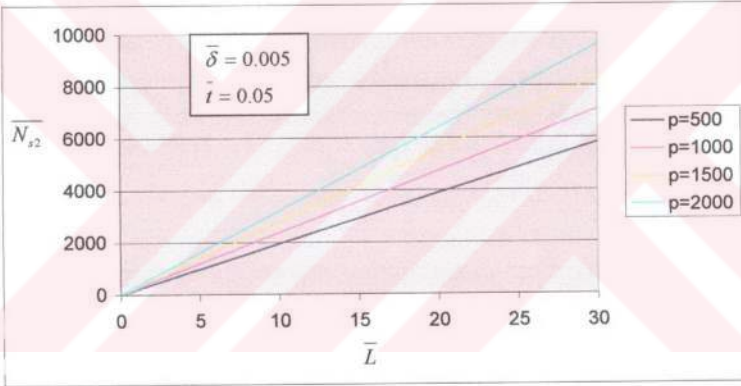
Şekil 7.41. $\bar{N}_{s2} - \bar{\delta}$ değişimiŞekil 7.42. $\bar{N}_{s2} - \bar{\delta}$ değişimi

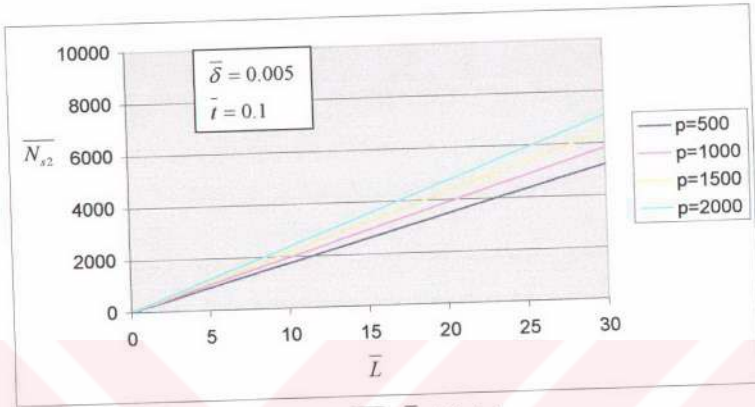
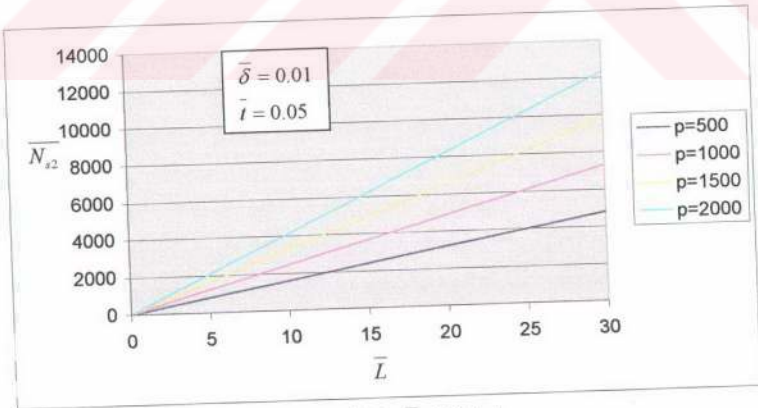


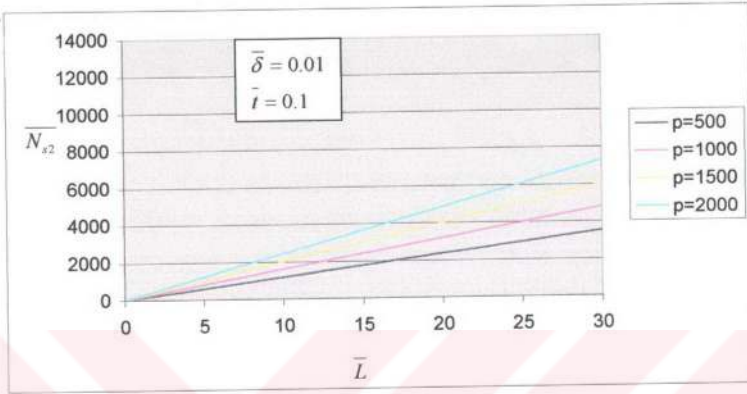
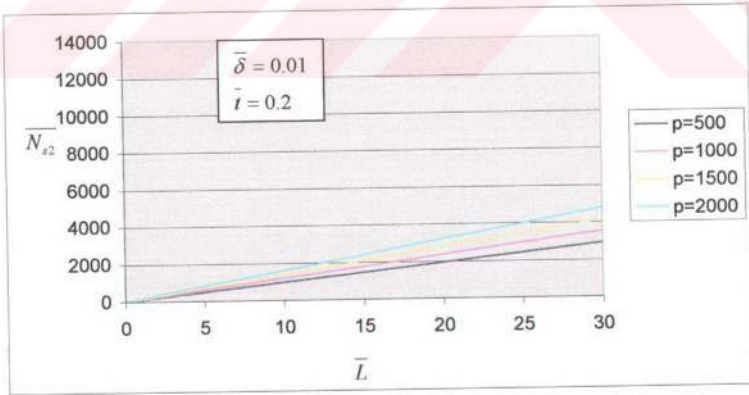


7.5.2. $\overline{N}_{s2} - \overline{L}$ Değişimi

Şekil 7.47...Şekil 7.51 vida ucunda oluşan boyutsuz viskoz kayıp güç ($\overline{N}_{s2}$) ile boyutsuz vida uzunluğu ($\overline{L}$) değişimini göstermektedir. Değişimin lineer olduğu ve boyutsuz basıncın artmasıyla $\overline{N}_{s2}$ 'nin de arttığı görülmektedir. Şekil 7.47-Şekil 7.48 ve Şekil 7.49.-Şekil 7.50.'de ise aynı $\overline{\delta}$ değerinde $\overline{t}$ 'nin artmasıyla $\overline{N}_{s2}$ 'nin de arttığı anlaşılmaktadır.

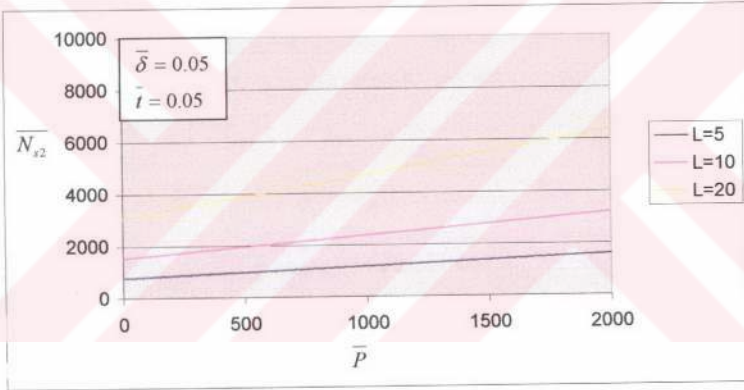
Şekil 7.47. $\overline{N}_{s2} - \overline{L}$ değişimi

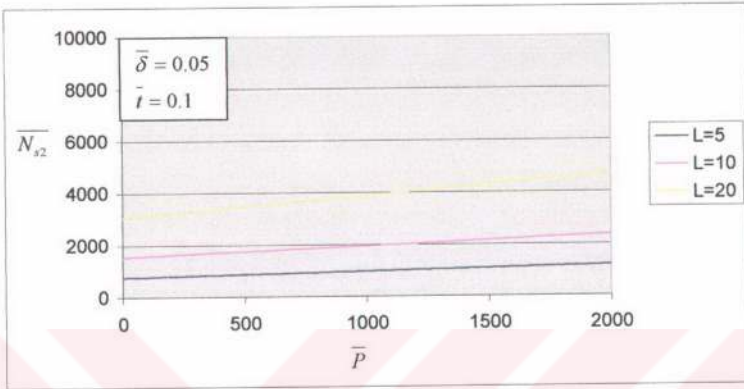
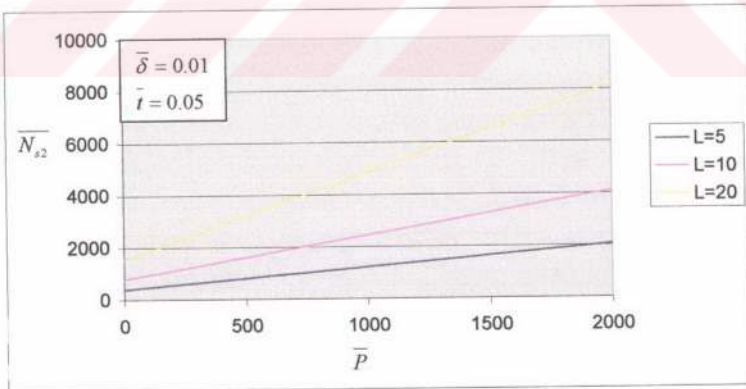
Şekil 7.48. $\bar{N}_{s2} - \bar{L}$ değişimiŞekil 7.49. $\bar{N}_{s2} - \bar{L}$ değişimi

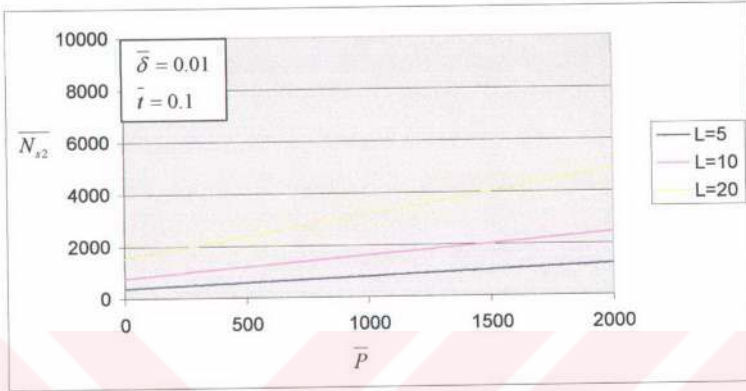
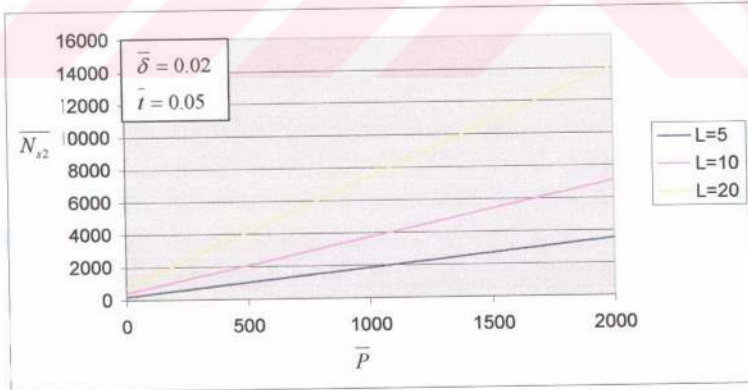
Şekil 7.50. $\bar{N}_{s2} - \bar{L}$ değişimiŞekil 7.51. $\bar{N}_{s2} - \bar{L}$ değişimi

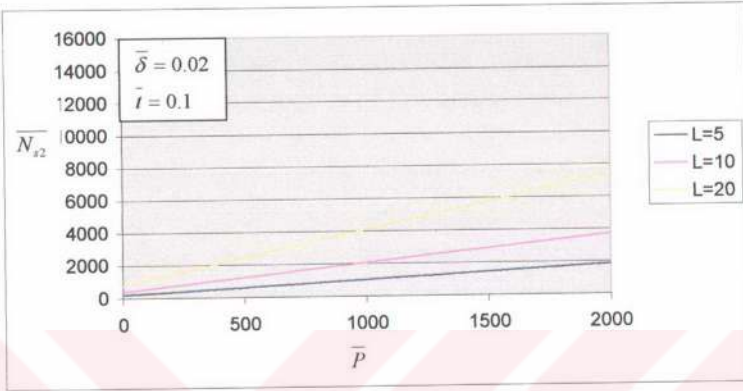
7.5.3. $\overline{N}_{s2} - \overline{P}$ Değişimi

Şekil 7.52...Şekil 7.53 boyutsuz basınç ile boyutsuz viskoz kayıp gücü değişimini vermektedir. Bu değişimin lineer olduğu ve $\overline{P}$ 'nin artmasıyla $\overline{N}_{s2}$ 'nin de lineer olarak arttığı görülmektedir. $\overline{\delta}$ 'nin sabit tutulup $\overline{t}$ 'nin artırılması kayıp gücü artırıcı yönde etki yapmaktadır. Aynı basınç değerinde $\overline{L}$ 'nin artırılması da kayıp gücü arttırmaktadır. Bu şekillerden düşük basınçlarda düşük kayıp gücünün olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 7.52. $\overline{N}_{s2} - \overline{P}$ değişimi

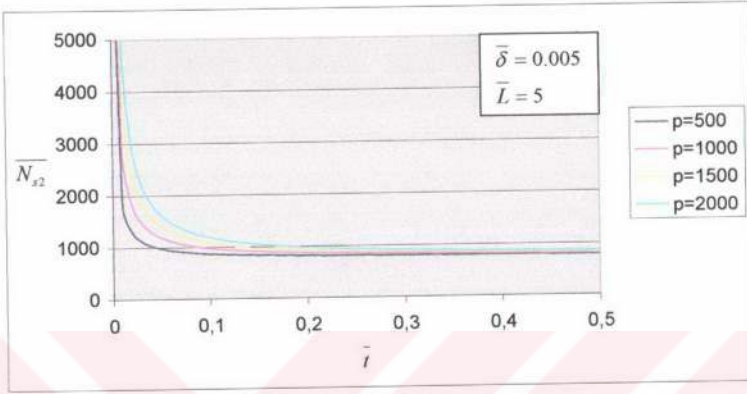
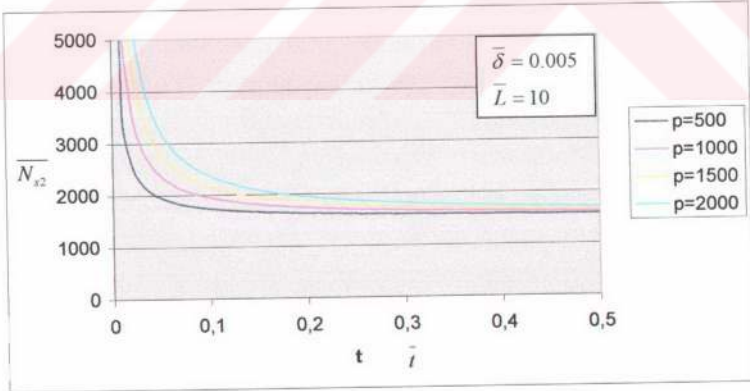
Şekil 7.53. $\bar{N}_{s2} - \bar{P}$ değişimiŞekil 7.54. $\bar{N}_{s2} - \bar{P}$ değişimi

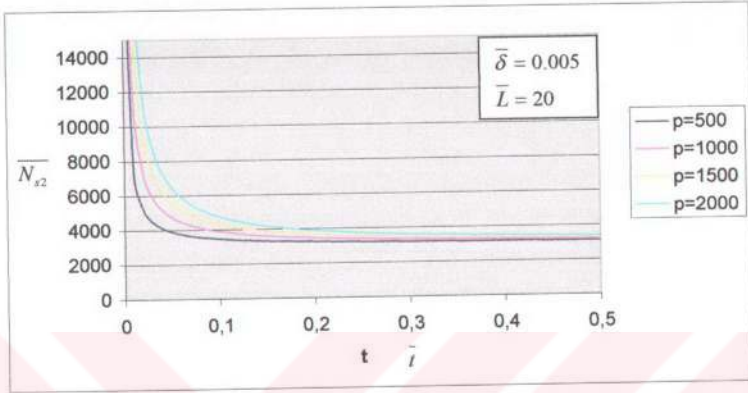
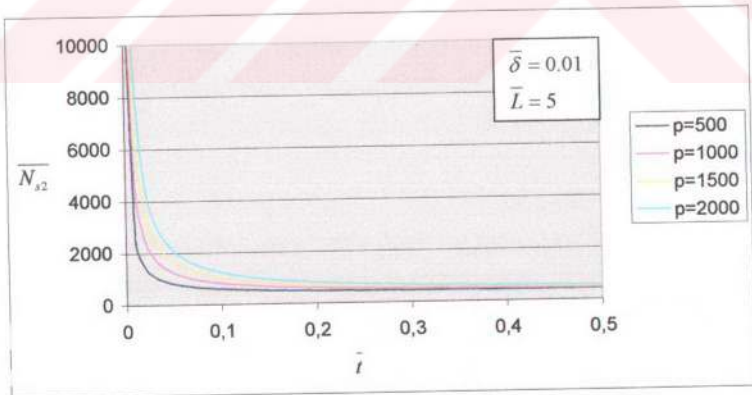
Şekil 7.55. $\bar{N}_{s2} - \bar{P}$ değişimiŞekil 7.56. $\bar{N}_{s2} - \bar{P}$ değişimi

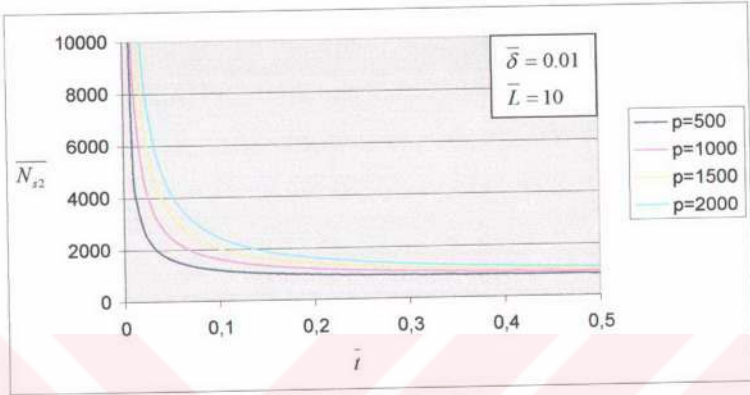
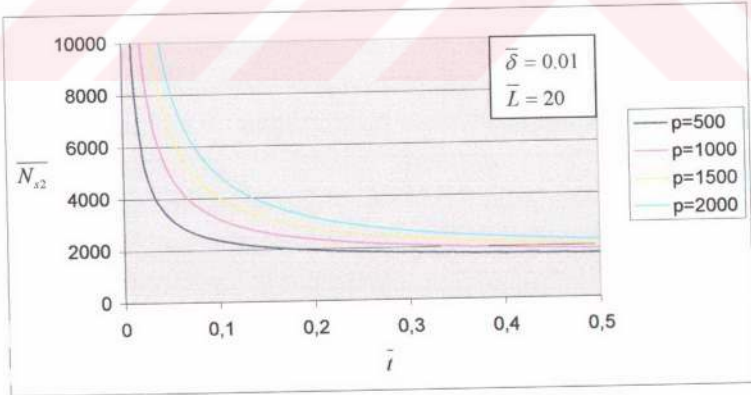
Şekil 7.57. $\bar{N}_{s2} - \bar{P}$ değişimi

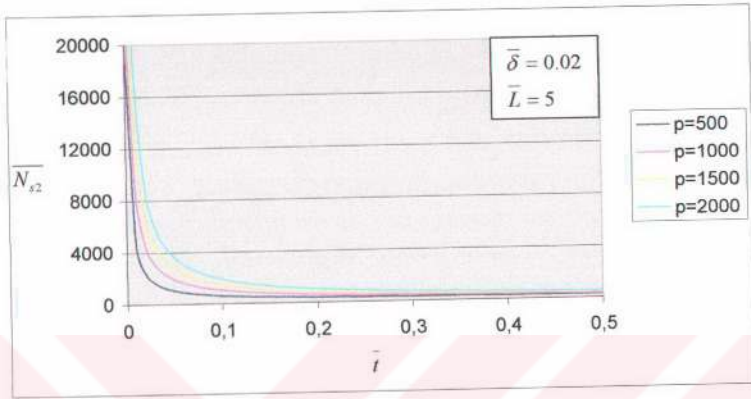
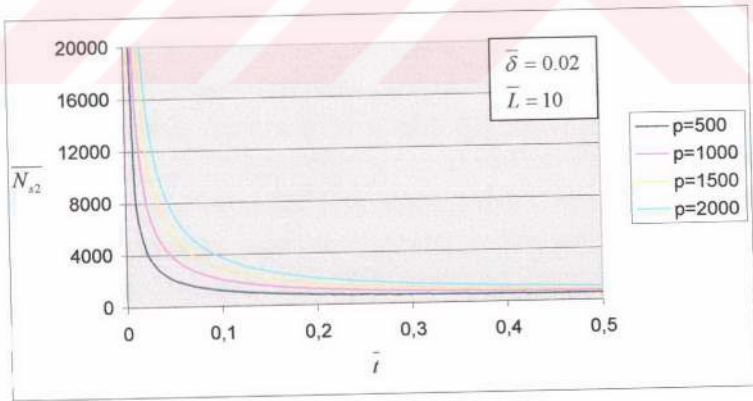
7.5.4. $\bar{N}_{s2} - \bar{t}$ Değişimi

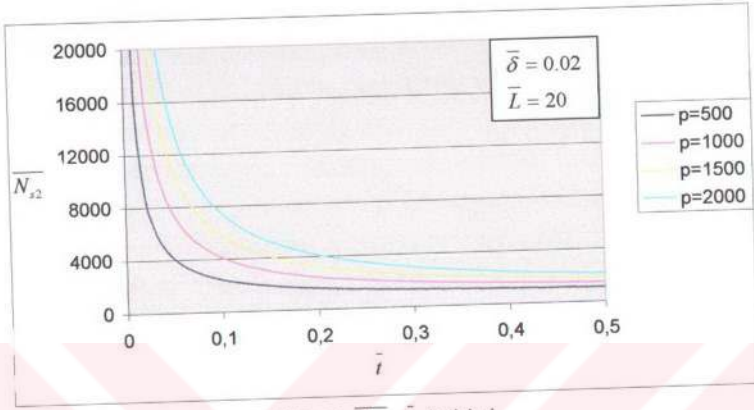
Şekil 7.58...Şekil 7.66. boyutsuz vida kalınlığı ($\bar{t}$) ile vida ucunda oluşan boyutsuz viskoz kayıp güç ($\bar{N}_{s2}$) değişimini vermektedir. Şekillerden $\bar{t}$ 'nin sıfıra yakın değerlerinde $\bar{N}_{s2}$ 'nin sonsuza yaklaştığı, $\bar{t}$ 'nin belli bir değerine kadar kayıp güçte bir düşme olduğu ve bu değerden sonra viskoz kayıp güçte önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Şekil 7.61. incelendiğinde $\bar{t} = 0.2$ değerinden sonra her basınç değerinde yaklaşık aynı viskoz kayıp gücün oluştuğu görülmektedir. $\bar{t} = 0.15$ seçildiğinde $\bar{P} = 500$ için $\bar{N}_{s2} = 520$ bulunmaktadır. Daha önce bahsedilen boyutlu parametreler göz önüne alındığında $t = 1.5$ cm ve $N_{s2} = 15.6$ kW olarak bulunmaktadır. $\bar{t}$ 'nin bu değerden sonra artırılmasının viskoz kayıp güçte önemli bir değişiklik oluşturmadığı görülmektedir.

Şekil 7.58. $\bar{N}_{s2} - \bar{t}$ değişimiŞekil 7.59. $\bar{N}_{s2} - \bar{t}$ değişimi

Şekil 7.60. $\bar{N}_{s2} - \bar{t}$ değişimiŞekil 7.61. $\bar{N}_{s2} - \bar{t}$ değişimi

Şekil 7.62. $\bar{N}_{s2} - \bar{t}$ değişimiŞekil 7.63. $\bar{N}_{s2} - \bar{t}$ değişimi

Şekil 7.64. $\bar{N}_{s2} - \bar{t}$ değişimiŞekil 7.65. $\bar{N}_{s2} - \bar{t}$ değişimi

Şekil 7.66. $\overline{N}_{s2} - \bar{t}$ değişimi

8. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada Tekstil Endüstrisinde geniş kullanım alan olan sentetik liflerin üretim yöntemleri içerisinde en yaygın olan eriyikten lif çekme yönteminde önemli bir fonksiyonu yerine getiren ekstrüderler incelenmiştir. Tekstilde kullanılan ekstrüderlerin teknolojik farklılıkları ortaya konarak filament üretiminde en fazla kullanılan tek vidalı ekstrüderler için hidrodinamik analiz yapılmaya çalışılmıştır. Ekstrüder, pompa, filtre ve düşe elemanları eriyikten lif çekme yönteminin aşamalarını oluşturmaktadır. Ekstrüder katı polimerin eritilip sıkıştırılarak belli bir basınç ve sıcaklıkta eriyiği pompaya ileten bir elemandır. Pompa ise polimerin basıncını artırarak filtre ve düşe elemanlarına eriyiği sevk etmektedir. Filtre, polimerin yabancı maddelerden temizlenmesi ve homojenliğini sağlamaktadır. Düşe ise eriyiğin küçük çaplı kapilerden geçirilerek ince filament halini aldığı elemandır.

Ekstrüder, eriyiğin bu üretim hattında oluşan akış özelliklerini ve polimer fiziksel özelliklerini belirleyen en önemli elemandır. Ekstrüder içerisinde oluşan akış ekstrüderin geometrik büyüklüklerine polimer fiziksel özelliklerine ve ekstrüder çalışma parametrelerine bağlı olmaktadır.

Ekstrüder içerisinde oluşan akışın incelenmesi için ekstrüderin hidrodinamik analizi yapılarak boyutsuz çalışmalarla ekstrüder tasarım büyüklükleri çıkarılmaya çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ekstrüder içerisinde “sürüklenme akışı”, “basınç akışı” ve “kaçak akışlar”ın olduğu belirlenmiştir. Ekstrüder içerisinde oluşan net akış ise sürüklenme akışından basınç akışı ve kaçak akışların çıkarılmasıyla bulunmaktadır.

Ekstrüder içerisinde viskoz akıştan kaynaklanan iki çeşit kayıp güç olduğu da yapılan analizler neticesinde ortaya çıkarılmıştır. Kanal içerisinde ve vida ucu-barel arasında oluşan viskoz kayıp güçlerin toplamı polimerin harekete gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır.

Bir ekstrüderin akış özellikleri için aşağıda genel bir değerlendirme yapılmaktadır. Bu değerlendirmeler göz önüne alınarak tasarım parametreleri için uygun değerlendirmeler yapılabilmektedir.

- Bir ekstrüderden elde edilen akış ve basınç ekstrüder geometrik büyüklüklerine ve polimer fiziksel özelliklerine bağlı olup, Tekstilde kullanılan orta boy bir ekstrüderin vida çapı $D = 4 \text{ in} \approx 10 \text{ cm}$ olmaktadır. Vida çapı ekstrüder karakteristiğini belirlemede önemli bir parametredir ve bu çalışmada çıkarılan boyutsuz ifadeler vida çapı esas alınarak yapılmıştır.
- Ekstrüderin çalışma hızı 200-400 dev/dak olup bu hızlar bir elektrik motorunun hızından çok küçük olduğundan vida ile elektrik motoru arasında redüktör kullanılmaktadır.
- Tekstilde kullanılan bir ekstrüderin sağladığı debi $Q_i = 30 - 50 \text{ lt/dk}$ olmaktadır. Ekstrüder içerisinde oluşan kaçak akış ise 2-3 lt/dk olmaktadır. Bu ifadeler, ekstrüderin tasarım büyüklüklerine göre değişiklik arz etmektedir.

Bu çalışmada bahsedilen akış ve viskoz kayıp güç için boyutsuz ifadeler çıkarılarak ekstrüder geometrisi ile basınç, debi değişimleri boyutsuz olarak incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda elde edilen değerlendirmeler aşağıda sırasıyla verilmektedir.

Boyutsuz Vida Derinliği ($\bar{d}$) için Değerlendirmeler

Şekil 7.1.'de $\bar{d} = 0.1 \dots 0.15$ arasında seçilmesi ile bütün basınç değerlerinde maksimum net akışın oluştuğu görülmektedir. Şekil 7.37.'de ise kanal içerisindeki viskoz kayıp güç $\overline{N_{s2}}$ 'nin $\bar{d} = 0.1$ 'den itibaren minimum olmaya başladığı görülmektedir. Bu durumlar göz önüne alındığında tasarım için $\bar{d} = 0.1 \dots 0.15$ arasında seçilmesinin uygun olacağı görülmektedir.

Boyutsuz Radyal Açıklık ($\bar{\delta}$) için Değerlendirmeler

$\bar{\delta}$, kaçak akışa ve vida ucunda kayıp viskoz gücün oluşmasına sebep olmaktadır. Şekil 7.21'de $\bar{\delta} = 0 \dots 0.05$ aralığında, çeşitli basınç değerlerinde kaçak akışın oluşmadığı, Şekil 7.39'da ise $\bar{\delta} = 0.01$ 'den sonra viskoz kayıp gücün artmaya

başladığı görülmektedir. Buradan, $\bar{\delta} = 0.005...0.01$ arasında seçilmesinin tasarım için uygun olacağı görülmektedir.

Boyutsuz Hatve ($\bar{H}$) için Değerlendirmeler

Şekil 7.11.'de $\bar{H}$ 'ın artmasıyla $\bar{Q}_t$ 'nin de lineer olarak arttığı görülmektedir. $\bar{H}$ için başka bir değişim grafiği bulunmadığından diğer parametrelerin tasarım için seçilen değerlerinde oluşan ortalama net akış değeri göz önüne alındığında $\bar{Q}_t = 0.02$ noktasında $\bar{H} = 1$ olduğu görülmektedir. Tasarım için boyutsuz hatvenin bu değere yakın seçilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

Boyutsuz Vida Uzunluğu ($\bar{L}$) için Değerlendirmeler

Şekil 7.16.'da $\bar{L}$ 'nin belli bir değerinden sonra net akışın her basınç seviyesi için aynı değerde olduğu; $\bar{L}$ 'nin küçük değerlerinde negatif, başka bir ifadeyle ekstrüder girişine doğru akış oluştuğu görülmektedir. Bu da istenen bir durum değildir. $\bar{L} = 5$ ve daha fazla seçilmesinin tasarım için uygun olacağı düşünülmektedir. Öte yandan Şekil 7.47'de kayıp viskoz güç $\bar{N}_{s2}$ 'nin $\bar{L}$ 'nin artmasıyla lineer olarak arttığı görülmektedir. $\bar{L}$ 'nin çok fazla arttırılmasının kayıp gücü de arttıracığı görüldüğünden tasarım için $\bar{L} = 5$ seçilmesinin basınç bölgesi için uygun olacağı düşünülmektedir.

Boyutsuz Vida Kalınlığı ($\bar{t}$) için Değerlendirmeler

Şekil 7.33.'te $\bar{t}$ 'nin sıfıra yakın değerleri için kaçak akışın büyük değerler aldığı, $\bar{t} = 0.001$ 'den sonra ise kaçak akışın oluşmadığı, başka bir ifadeyle kaçak akışın sürüklenme yönünde olduğu görülmektedir. Şekil 7.58.'de ise $\bar{t} = 0.1$ 'den sonra viskoz kayıp gücün ($\bar{N}_{s2}$) her basınç seviyesinde yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Aynı şekilde, $\bar{t} = 0.001$ civarında kayıp gücün yüksek değerler aldığı görüldüğünden tasarım için $\bar{t} = 0.01$ seçilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

Ekstrüderin basınç bölgesinde yapılan teorik çalışmalar sonucu tasarım için tavsiye edilen debi, basınç, viskoz kayıp güç gibi performans kriterlerine uygun vida geometrik büyüklükleri boyutsuz olarak Çizelge 8.1.'de gösterilmektedir.

Çizelge 8.1. Tasarım için tavsiye edilen boyutsuz vida parametreleri

Boyutsuz İfade	Değer
$\bar{d}$	0.1...0.15
$\bar{\delta}$	0.005...0.01
$\bar{H}$	0.8...1.2
$\bar{L}$	4...6
$\bar{t}$	0.08...0.12

Elde edilen bu boyutsuz değerlerin boyutlu olarak ifade edilmesi, vida çapı (D)'nın belirlenmesiyle mümkün olmaktadır. Vida çap boyutunun değerlendirilmesi ile ekstrüder vidasının geometrik büyüklükleri de ortaya çıkmaktadır.

9. GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Bu çalışmada ekstrüderin hidrodinamik analizinin yapılabilmesi için bir çok kabul yapılmış ve teorik inceleme ekstrüderin basınç bölgesi üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Ekstrüderin taşıma ve eritme bölgelerinin de performansa önemli etkileri olduğundan daha sonraki çalışmalarda besleme-eritme bölgesi de teorik ve deneysel olarak incelenebilir.

Ekstrüder içerisinde sıcaklığın önemli bir fonksiyonu olmaktadır. Bu çalışmada sıcaklığın akışa etkisi incelenmemiştir. Daha sonraki çalışmalarda sıcaklık göz önünde bulundurularak boyutsuz çalışmalara yapılmak suretiyle tasarım için bir modelleme yapılabilir.

Ekstrüder-pompa arasında oluşan akış ve basınç özellikleri belirlenerek giriş-çıkış noktalarında olması gereken akışkan özellikleri boyutsuz çalışmalara belirlenerek tasarıma yönelik çalışmalar yapılabilir. Ayrıca filtre-düse elemanlarındaki akış durumu ve eriyiğin bu elemanlar içerisinde zorlanarak geçirilmesi için gerekli basınç ihtiyacı bulunarak pompanın sağlaması gereken basınç bulunabilir.

Filament üretiminde nihai eleman olan düsenin içerisinde geçen eriyiğin davranışı ve bu davranışın filament fiziksel özelliklerine etkisi deneysel olarak araştırılabilir. Buradaki gerekli basınç ve buna bağlı olarak liflerin sarımı için gerekli sarım hızı bulunabilir. Ayrıca, düseden çıkan filament için gerekli soğutma kanalı uzunluğu ve soğutma süresi bulunarak eriyikten lif çekimi yöntemi için üretim hattı boyunca bir modelleme yapılabilir. Bu modelleme esas alınarak yapılacak bir bilgisayar programı ile de teorik olarak yapılan çalışmaların üretimin gerçek şartlarda oluşturulması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- ALTUN, Ş., 1999, Polyester Lif Üretim Atıklarından Granül Eldesi İçin Ekstrüder Dizaynı ve Elde Edilen Granül Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Teksti Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa.
- ANONYMOUS, 1990, The Effect of Temperature and Other Factors on Plastics, Volume-1 BookA, Plastics Design Library New York.
- ANONYMOUS, 1990, The Effect of Temperature and Other Factors on Plastics, Volume-1 BookB, Plastics Design Library New York.
-Barmag AG Kataloğu
- BAYKAM, C., 1995-1996, SASA Polyester Günü Bildirileri, Adana
- BHUVANESH Y.C., 1998, Problems and Opportunities in Polymer Metering Applications, International Fibre Journal, 3: pp. 104-107.
- CHARLES Z., PORCZYNSKI, C., 1960, Manual of Man-Made Fibres, Astex Publishing Company.
- DEMİREL T., 1997, Plastik Ekstrüderlerinde Malzeme Akışı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü.
- FRIED, J.R., 1995, Polymer Science and Technology, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- GROSJEN, J., 1991, Kinematics and Dynamics of Mechanisms, McGraw-Hill Book Company, UK.
- GUPTA V.B., Synthetic Fibres Manufacture and Applications Lecture Notes, Dept. of Indian Institute of Technology.

- GUZMAN, J.E., UPTON M., 1998, Advances, Changes in PET Processing Spark Innovations in Gear Pump Technology, International Fibre Journal, 2: pp. 40-42.
- JINAN C., 1992, Studies on the Mechanism of Draw Resonance in Melt Spinning, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 42, Iss 1, pp 143-151.
- KARAKAŞ H., 2000, Sentetik İplik Üretimi Ders Notları, İTÜ, (yayınlanmamış).
- KOÇ, E., 1994, Hidrolik Devreler, Ç.Ü. Müh-Mim. Fak. Yayınları, Yayın No:25, Adana.
- KUMAR, A., GUPTA, R.K., 1998, Fundamentals of Polymers, McGraw-Hill International Editions.
-, LCI Pumps Kataloğu
- LEVY S., 1981, Plastics Extrusion Technology Handbook, Industrial Press Inc., Newyork.
- MARJORY, J.L., 1988, Essentials of Textiles, Holt, Rinehart and Winston Inc., USA.
- MARK, E.J., Physical Properties of Polymers Handbook, American Institute of Physics, New York, 1996.
- McKELVEY, M.J., Polymer Processing, John Wiley and Sons, Newyork, 1962
-, Melland International, 2001, 9: pp.156 Vol.7.
-, Melt Extrusion Vol.8. pp.533-536.
- MIAW, C., BALCH, G AND VLOSKY A., 1989, Mixing in Single Screw Extruders, The Winter Annual Meeting of The American Society of Mechanical Engineers, San Francisco, California, 12: 10-15.

- MUKHOPADHY, S. K., 1992, Advances In Fibre Science, Textile Institute, Manchester, England.
- MURPHY, M.W., STALLINGS, T.H., McKELVEY, M. J., 1998, Specifying a Polymer Reactor Discharge Pump, International Fibre Journal, 2: 56-62.
- NIELSEN, L.E., LANDEL, R. F., 1994, Mechanical Properties of Polymers and Composites, Marcel Dekker, Inc., USA.
- NIGAM, J.K., 1976, Progress in Melt Spinning, Textile Asia, pp.16-24, July.
- PEARSON, J.R.A., 1966, Mechanical Principles of Polymer Melt Processing, Pergamon Press.
- RAYMOND B., 1990, Seymour B., Engineering Polymer Sourcebook, McGraw-Hill Publishing Company.
- REBENFELD, L., 1990, Science and Technology of Fibres and Related Materials, Journal of Applied Polymer Science, Applied Polymer Symposium, John Wiley&Sons, NJ.
- RODRÍGUEZ, F., 1996, Principles of Polymer Systems, Taylor&Francis Publishers.
- SANVER, E., 2003, Çin'e Karşı Somut Önlem Almalıyız, Tekstil Araştırma Dergisi (TAD), 3: 8-14.
- SHETZ, J.A., FUHS, A.E., 1996, Handbook of Fluid Dynamics and Fluid Machinery, Volume-1 Fundamentals of Fluid Dynamics, John Wiley and Sons, Inc., USA.
- STEVENS, M.J, COVAS, J.A., 1995, Extruder Principles and Operation, Chapman&Hall, London.
- STEVENS, M.P., 1998, Polymer Chemistry-An Introduction, Oxford University Press, New York-Oxford.

TADMOR Z., KLEIN, I., 1970, Engineering Principles of Plasticating Extrusion, Van Nostrand Reinhold Company, Canada.

TARAKÇIOĞLU, I., 1986, Tekstil Terbiyesi ve Makinaları- Polyester Liflerinin Üretimi ve Terbiyesi, Cilt: 3, Tekstil- Danış Yayınları, No:1, İzmir.

TUCKER, C.L., 1990, Fundamentals of Computer Modeling For Polymer Melt Processing, Hanser Publishers.

WANG, H.P., 1989, Polymer Processing: Modeling and Validation, The Winter Annual Meeting of The American Society of Mechanical Engineers, San Francisco, California, 9: 10-15.

WELFERS E., 1978. Process and Machine Technology of Manmade fibre Production, International Textile Bulletin, 2:...

YILDIRIM, H., 2000, Polyester Lif Üretim Sistemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana.

YOUNG, R.J., LOVELL, P.A., 1991, Introduction to Polymers, Chapman&Hall Inc., London.

....., Zenith Pumps Kataloğu

ZIABICKI, A., KAWAI, H., 1995, High-Speed Fiber Spinning- Science and Engineering Aspects, John Wiley&Sons, Inc., USA.

www.bharattextile.com

www.bfengineering.it

www.drexel.edu

<http://matexweb.chez.tiscali.fr>

www.ultech.com

www.swfilters.com



ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Ankara’da doğdu. İlk öğrenimini Ortaköy’de, liseyi Aksaray Anadolu Öğretmen Lisesi’nde tamamladı. 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. Burada Tekstil Makinaları İmalatı Çalışma Grubunda öğrenci asistan olarak çalıştı. 2001 yılında lisans eğitimini tamamlayarak Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Aynı yıl Tekstil Mühendisliği bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen bu görevi sürdürmektedir.

